

PROVINCIA DE CATAMARCA

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

**APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO
DEL RIO AMPAJANGO
DEPARTAMENTO SANTA MARIA**

PREFACTIBILIDAD

INFORME FINAL

DICIEMBRE 2004

Geólogo Raúl José Ceresole

INDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	05
1. OBJETIVO	06
2. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	08
A. Publicaciones	09
B. Documentación Gráfica	10
3. INFORMACIÓN ANTECEDENTE	13
3.1. Análisis de la Información Antecedente	14
3.2. Utilización de la Información Antecedente	15
4. RECONOCIMIENTO DEL AREA DE ESTUDIO	16
5. RESEÑA GEOLÓGICA REGIONAL	18
5.1. Introducción	19
5.2. Hidrología	19
5.3. Geomorfología	22
5.4. Estratigrafía	23
5.5. Estructura	26.
6. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIOS	29
6.1. Litoestratigrafía	30
6.2. Estructura	37
6.3. Procesos de remoción en masa	39
7. AREAS DE ESTUDIOS DEL PROYECTO	41
7.1. AREA DE CAPTACION Y DERIVACION	42
7.1.1. Introducción	42
7.1.2. Geología	43
7.2. AREA DE VASO	44
7.2.1. Introducción	44
7.2.2. Geología. Variante I	44
7.2.2.1. Estanqueidad del Vaso	45
7.2.3. Geología. Variante II	46
7.2.3.1. Estanqueidad del Vaso	47

7.3. AREA DE CIERRE	47
7.3.1. Geología. Variante I	47
7.3.2. Geología. Variante II	48
7.3.3. Cierre Secundario	49
7.4. AREA DE CONDUCT. AL SISTEMA DE DISTRIBUCION	50
8. INVESTIGACIÓN DE MATERIALES DE FUNDACIÓN	51
8.1. Introducción	52
8.2. Calidad y permeabilidad de la roca de fundación.	52
8.2.1. Litología	53
8.2.2. Alteración	54
8.2.3. Fracturación del macizo	54
8.2.4. Permeabilidad del macizo	55
8.2.5. Agua subterránea	55
8.3. Ensayos de laboratorio	55
8.4. Clasificación geomecánica del macizo rocoso	57
9. INVESTIGACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION	61
9.1. Materiales finos	62
9.2. Materiales granulares	65
10. CALIDAD DE LAS AGUAS DEL RIO AMPAJANGO	67
10.1. Potabilidad	68
10.2. Agresividad al hormigón	68
11. TOPOGRAFIA	69
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72

ANEXOS

ANEXO I: LAMINAS DE TEXTO

LAMINA Nº 1: Hoja Santa María 11e. (fracción)

LAMINA Nº 2: Hoja Aconquija 12e (fracción)

LAMINA Nº 3: Precipitación media (mm/mes) / Caudal medio (m³/s)

ANEXO II: PLANILLAS DE DATOS

PLANILLA Nº 1: Datos pluviométricos med. mensual (mm) 1979/2004

PLANILLA Nº 2: Caudales medios mensuales (m³/s). (1948/1961)

PLANILLA Nº 3: Caudales medios mensuales (m³/s). (2001/2004)

ANEXO III: FOTOGRAFIAS

ANEXO IV: FICHAS DE LOS ANTECEDENTES

ANEXO V: PLANOS

PLANO N° PA -IF - 01: Ubicación del Proyecto

PLANO N° PA -IF - 02: Caracterización Geológica Regional

PLANO N° PA -IF - 03: Plano Geológico del Area de Estudios

Escala 1:2500

PLANO N° PA -IF - 04: Plano del Vaso. Variante I; Esc. 1: 5.000

PLANO N° PA -IF - 05: Plano del Vaso. Variante II; Esc. 1: 5.000

PLANO N° PA -IF - 06: Perfiles Geológicos C-D y D-E. Sobre

Ejes de Presas Variante I y Secundario. Esc. Hor. y Ver. 1: 1.000

PLANO N° PA -IF - 07: Perfiles Geológicos F-G, G-D y D-E.

Sobre Ejes de Presas Variante II y Secundario.

Escalas: Hor. y Ver. 1: 1.000

PLANO PA -IF - 08: Perfiles Geológicos H-I, J-K y L-M.

Transversales a Ejes de Presas Variante I y Secundario.

Escalas: Hor. y Ver. 1:1.000

PLANO PA -IF - 09: Perfiles Geológicos N-Ñ y O-P.

Transversales a Eje de Presa Variante II.

Escalas: Hor. y Ver. 1:1.000

PLANO PA -IF - 10: Perfiles Geológicos Q-R y R-S.

Sobre el Eje de Toma y Derivación al Embalse.

Escalas Hor. y Ver. 1:1.000

PLANO N° PA -IF -11: Plano Topográfico. Escala 1. 2.500

ANEXO VI: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO VII: TOPOGRAFIA. Base de Datos de Puntos Relevados.

(soporte Optico)

INTRODUCCION

El Proyecto Hidráulico Ampajango, se ubica en el Distrito San José, Departamento Santa María, Provincia de Catamarca.

Involucra sedimentitas del Grupo Santa María del Terciario continental, en un área deprimida situada en la margen izquierda del río Ampajango.

Aquí, areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados, pobremente cementados, yacen con rumbo N 40° E y buzamiento entre 37° y 46° SE.

El rumbo de la estratificación es transversal al embalse y el buzamiento de los estratos es hacia aguas arriba.

Constituyen en conjunto, un macizo rocoso de comportamiento plástico, muy poco fracturado, lo que garantiza la estanqueidad integral del mismo.

El proyecto contempla la captación, embalse y regulación de las aguas del río Ampajango, a través del cierre de dicha depresión lateral.

Dos variantes de cierre se han estudiado.

La Variante I contempla una presa de 200 metros de longitud, 26 metros de altura y un vaso de 2,5 Hm³.

La Variante II contempla una presa de 530 metros de longitud, 36 metros de altura y un vaso de 3,9 Hm³.

La ausencia de estructuras tectónicas importantes y la inclinación favorable de los estratos, descarta, en principio, toda posibilidad de deslizamientos inducidos.

La fundación de la presa, areniscas y términos asociados, corresponden a un macizo rocoso de baja resistencia e importante deformabilidad.

Estas características imponen condiciones para el proyecto, debiendo considerarse presas de materiales sueltos, quedando las estructuras de hormigón solo para tomas y vertedero.

En un área cercana se han ubicado materiales de construcción, tanto finos como granulares, en principio aptos para una presa de materiales sueltos. Los materiales granulares desde arenas hasta bloques, abundan en la zona por lo que están aseguradas las cantidades necesarias para hormigones.

OBJETIVO

1. OBJETIVO

El proyecto se ubica en el Distrito San José, Departamento Santa María, Provincia de Catamarca PLANO PA- IF- 01.

Se accede transitando desde la localidad de Santa María hacia el sur unos 25 Km. por la ruta nacional N° 40, que corre paralela al río Santa María, hasta la localidad de El Desmonte. Desde ese punto y por un camino secundario se llega al pequeño asentamiento de Ampajango, desde donde se accede a los sitios de proyecto, situados unos 2 Km. aguas arriba, remontando el río Ampajango.

Las precipitaciones son del orden de los 150 mm anuales, concentrados en los meses de verano, mientras que de Abril a Octubre, las lluvias no superan el 10% del total.

El río Ampajango es una de las fuentes hídricas más interesantes, ya que actualmente provee al Departamento Santa María de gran parte del agua potable que consume y aporta el 30% del agua de riego del valle.

Durante el verano, los caudales excedentes escurren aguas abajo sin ser utilizadas, por la falta de obras de regulación.

Dentro de este contexto, se plantea evaluar la viabilidad de un sistema de obras que satisfaga los siguientes objetivos: captación de las aguas del río Ampajango a partir de una obra de toma y derivación, su conducción hasta un embalse lateral que se crearía en una hondonada natural mediante la construcción de una presa y su aprovechamiento a partir de allí, en base a una administración racional de las disponibilidades almacenadas y de los aportes probables, a través de conductos dispuestos a tal efecto. FOTO N° 1.

En particular, los estudios de esta etapa, tienen por objeto proveer datos suficientes sobre las distintas Variantes de Cierres, conducentes a la formación de un embalse, que permitan a la Ingeniería de Proyecto valorar los costos relativos entre ellas y estimar las inversiones futuras, seleccionando la más conveniente.

RECOPIACION DE ANTECEDENTES

2. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

A. Publicaciones

- 1- Descripción Geológica de la Hoja 11e, SANTA MARIA. Ex Servicio Nacional Minero Geológico. Oscar J. Ruiz Huidobro. Bs. AS. 1972. Boletín N° 134.

- 2- Descripción Geológica de la Hoja 12e, ACONQUIJA. Ex Dirección Nacional de Minería. Félix González Bonorino. Bs. As. 1951. Boletín N° 75.

- 3- Descripción Geológica de la Hoja 10e, CAFAYATE. Ex Servicio Geológico Nacional. Amílcar F. Galván. Bs. As. 1981. Boletín N° 177.

- 4- Descripción Geológica de la Hoja 11d, LAGUNA BLANCA. Ex Servicio Nacional Minero Geológico. Juan Carlos M. Turner. Bs. As. 1973. Boletín N° 142.

- 5- Estudio Preliminar para el aprovechamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Pasaje-Juramento-Salado. Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Comité de Cuenca. Consejo Federal de Inversiones. Tomo I. 1977

- 6- Sierras Pampeanas de Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. Roberto Caminos. Primer Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Córdoba, 1969.

- 7- Sierras Pampeanas Noroccidentales Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. Roberto Caminos. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Córdoba. Volumen I. 1979.

- 8- Subsecretaría de Planificación de Recursos Hídricos. Dirección de Recursos Hídricos. Provincia de Catamarca. Planillas de datos de aforos del Río Ampajango. Años 2002/03. Sección de aforos: Desarenador.

9- Agua y Energía Eléctrica. Planillas de datos de aforos del Río Ampajango. Años 1948-49 /1960-61 (11 años). Sección de aforos: Desarenador.

10- Subsecretaría de Planificación de Recursos Hídricos. Dirección de Recursos Hídricos. Provincia de Catamarca. Estación Pie de Médano. Dto. Santa María Planillas de datos Pluviométricos. Período 1979-80 / 1991-92 y 1993-94 / 2003-04. (24 años)

11- Convenio Especifico de Cooperación entre la Universidad de General San Martín y la Secretaria de Estado del Ambiente de la Provincia de Catamarca. Anexo I. Etapa I. Informe. Bs. As. Abril de 2000.

12- Obras Sanitarias de Catamarca. Ministerio de Economía. Anteproyecto: Toma Sobre el Río Ampajango. Departamento Santa María. Augusto Avilés. 1982. Informe Inédito.

13. The Engineering Geology of Weak Rock. Especialmente, Capítulo I, Weak Rock Materials. R, Oliveira pag. 5/18 y Arenaceous materials M.E. Barton y otros pag. 125/138 – Proceedings of the 26 th. Annual Conference of the Engineering Group of the Geological Society/ Leeds / United Kingdom / 9-13 September 1990.

B - Documentación Gráfica

1- Carta Topográfica SANTA MARIA, 2766-I. Escala 1:250.000. Proyección Conforme Gauss-Kruger. Compilación1986. Instituto Geográfico Militar.

2- Carta Topográfica SAN MIGUEL DE TUCUMÁN, 2766-II. Escala 1:250.000. Proyección Conforme Gauss-Kruger. Compilación1988. Instituto Geográfico Militar.

3- Carta Topográfica BELEN, 2766-III. Escala 1:250.000. Proyección Conforme Gauss-Kruger. Compilación1988. Instituto Geográfico Militar.

4- Carta Topográfica CONCEPCIÓN, 2766-IV. Escala 1:250.000. Proyección Conforme Gauss-Kruger. Compilación 1985. Instituto Geográfico Militar.

5- Carta Imagen Satelital de la República Argentina. Escala 1:250.000. SANTA MARIA, 2766-I. Años 1996/1997. Instituto Geográfico Militar.

6- Carta Imagen Satelital de la República Argentina. Escala 1:250.000. SAN MIGUEL DE TUCUMAN, 2766-II. Años 1996/1997. Instituto Geográfico Militar.

7- Carta Imagen Satelital de la República Argentina. Escala 1:250.000. BELEN, 2766-III. Años 1996/1997. Instituto Geográfico Militar.

8- Carta Imagen Satelital de la República Argentina. Escala 1:250.000. CONCEPCIÓN, 2766-IV. Años 1996/1997. Instituto Geográfico Militar.

9- Fotogrametría aérea, Escala 1:50.000. Instituto Geográfico Militar, Plan Cordillerano año 1964, corridas:

2767 / 216 – 10

2767 / 216 – 11

2767 / 217 – 7

2767 / 217 – 5

2767 / 217 – 3

2765 / 105 – 12

2765 / 106 - 10

2765 / 106 - 11

10- Instituto Fotográfico Argentino (IFTA) Planimetría Aerofotogramétrica del Valle del Río Santa María. Escala 1:10.000. Ministerio de Obras Públicas. Provincia de Catamarca. 1960.

11- Programa Para el Uso del Agua. Cuenca Río Santa María. Estaciones Meteorológicas e Hidrométricas. Mapa C-5-1. Escala 1:200.000. Consejo Federal de Inversiones – Gobierno de la Provincia de Catamarca.1982.

INFORMACION ANTECEDENTE

3. INFORMACIÓN ANTECEDENTE

3.1 Análisis de la Información Antecedente

De los antecedentes recopilados e investigados, resultan de interés y directa utilidad, los trabajos de Roberto caminos, del Primer y Segundo Simposios de Geología Regional Argentina, 1969 y 1979, los que constituyen una síntesis de la geología e historia geológica del Sistema de Sierras Pampeanas Noroccidentales Salta, Tucumán, Catamarca, LA Rioja y San Juan, al que pertenecen los estratos Terciarios del Valle de Santa María.

El mayor conocimiento de estos últimos, en el área de proyecto al menos, está reunido en la Descripción Geológica de la Hoja 11e, SANTA MARÍA. Ex Servicio Nacional Minero Geológico, de Oscar J. Ruiz Huidobro. BS. As. 1972. Boletín N° 134.

También, aunque en menor medida, es útil la Descripción Geológica de la Hoja 12e, ACONQUIJA. Ex Dirección Nacional de Minería. Félix González Bonorino. Bs. As. 1951. Boletín N° 75, ya que una pequeña porción de la cuenca del río Ampajango, pertenece a esta Hoja (extremo norte de la misma).

La información correspondiente al régimen y comportamiento de la cuenca del río Ampajango, puede seguirse y evaluarse en base a datos de aforos del río Ampajango, período 2001/04 (incompleto) y de datos pluviométricos, períodos 1979-80 / 1991-92 y 1993-94 / 2003-04 (24 años) de la Estación Pie de Médano de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Catamarca y de datos de aforos del río Ampajango en los años 1948-49 /1960-61 (11 años) pertenecientes a la Empresa del Estado Agua y Energía Eléctrica.

Del material gráfico recopilado, cobra importancia la carta Imagen Satelital de la República Argentina, Escala 1:250.000, Hojas 2766- I a IV y Fotografías Aéreas, Escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, Plan Cordillerano año 1964, corridas:

2767 / 216 - 10/11

2767 / 217- 3 / 7

2765 / 105 - 12

2765 / 106 -10 /11

3.2. Utilización de la Información Antecedente

Sobre una imagen satelital, se reconocieron y marcaron los principales elementos geológico-estructurales.

La misma, que ha sido georreferenciada, es un producto cuya base son las siguientes cuatro imágenes:

2766 - I

2766 - II

2766 - III

2766 - IV

Se identificaron las rocas de basamento y las estructuras principales que enmarcan el valle de Santa María. Dentro del mismo las sedimentitas del Cenozoico.

Los mas expuestos son los sedimentos cuartarios, viejos depósitos aluviales dispuestos en terrazas, desde las más antiguas y restringidas en el borde superior de la Sierra del Aconquija, hasta aquellas de mayor desarrollo y que culminan contra los sedimentos arenosos y loessicos reciente del valle actual del río Santa María.

Las sedimentitas terciarias del Grupo Santa María, en cambio, como se aprecia en la Hoja 11e, por lo general afloran en las quebradas de los rios que bajan de la sierra, al ser expuestas al profundizar los mismos su nivel de erosión.

Se observa también que la red de drenaje intercepta oblicuamente a estos estratos de rumbo NNE e inclinación general hacia el este, más evidente en el centro y norte de la imagen, ya que hacia el sur los mismos se cubren rápidamente por el cuartario.

La estructura dominante lo constituyen lineamientos submeridianos y otras oblicuas a las serranías terciarias.

Se identificó en la imagen, la cuenca del río Ampajango y la depresión situada en su margen izquierda.

RECONOCIMIENTO DEL AREA DE ESTUDIO

4. RECONOCIMIENTO DEL AREA DE ESTUDIO

Actividades Realizadas

Conjuntamente con personal técnico de Proyecto y de Topografía, se visitaron y tomaron con GPS distintos puntos de control de la imagen satelital.

Se recorrió la quebrada del Río Ampajango, desde su salida al valle de Santa María hasta cerca de la confluencia del Arroyo Abra del Toro con el Arroyo C° Media Agua. FOTO N° 2.

Se reconoció el cuenco lateral de margen izquierda, realizándose mediciones y muestreos para la identificación preliminar de los estratos sedimentarios involucrados.

En fotogramas se aprecia su forma aproximadamente oval, con un eje mayor de unos 2500 metros de longitud y un ancho máximo de 1400/1500 metros, la que en su porción distal presenta un pequeño portezuelo de unas pocas decenas de metros de ancho y situado en un nivel superior al cauce del río.

La foto también revela que su interior tiene una morfología sumamente tortuosa conformada por la sucesión de pequeñas quebradas que alternan con relieves positivos, en general elongados en el sentido del rumbo de los estratos sedimentarios terciarios. FOTO N° 3.

Finalmente se planteó, en base a las observaciones, una red poligonal básica para el levantamiento topográfico del área involucrada con las investigaciones.

RESEÑA GEOLÓGICA REGIONAL

5. RESEÑA GEOLÓGICA REGIONAL

5.1. Introducción

El antecedente geológico regional más relevante en el área de proyecto lo constituyen las descripciones correspondientes a las Hojas Geológicas 11e, Santa María (Ruiz Huidobro O, 1972) y la 12e, Aconquija (González Bonorino F, 1951) del Servicio Geológico Minero Argentino.

Las LÁMINAS N° 1 y N° 2, son fracciones de las mismas e incluyen ampliamente a la cuenca del Río Ampajango.

Se intentó realizar una integración de estas hojas mediante tecnología digital, pero se encontró importantes diferencias entre los elementos de una y otra carta (curvas de nivel, drenaje, etc.) en los puntos de pase, impidiendo la confección de una lámina única que mostrara el área de interés del proyecto.

Por tal motivo se optó por la alternativa de presentarlas separadamente.

También merecen citarse los trabajos de Galván F. A., Ruiz Huidobro O. y Peirano A., en general referidos a la estratigrafía y contenido fosilífero de las Formaciones Geológicas del área de proyecto.

Estos trabajos proporcionan abundante información estratigráfica, estructural y geomorfológica general del área en estudio y constituyen un importante documento para la Caracterización Geológica Regional. PLANO PA- IF- 02

5.2. Hidrología

La cuenca del río Ampajango, al igual que muchos de los afluentes del río Santa María que llegan a él por su margen derecha, se ubica en el faldeo occidental de la Sierra del Aconquija. PLANO PA - IF - 01.

La divisoria de aguas de este cordón, es también límite entre las provincias de Catamarca y Tucumán, desde el Filo del Pajonal en el norte, hasta el Nevado del Candado en el sur. Las estadísticas hidrológicas en el área son escasas y discontinuas en el tiempo. No obstante, en referencia a la zona oeste de la provincia de Catamarca, según Ruiz Huidobro (1), llueven 185mm anuales en

Santa María, en tanto que para Avilés (11), los registros pluviométricos aumentan hacia el este, alcanzando en los límites superiores de esta vertiente los 300mm, por influencia de las condensaciones orientales donde los registros van desde los 1000 hasta los 2500mm.

Como consecuencia en el oeste reinan condiciones de semiaridez, con vegetación xerófila, monte arbustivo, y cardones en los niveles inferiores, mientras que en las zonas altas domina el roquedal con apenas presencia de vegetación. FOTO N° 5.

La mayoría de los cursos fluviales, entre ellos el Ampajango, tienen sus nacientes en la elevada línea divisoria, por lo que tiene algún aporte permanente de origen nival y pendientes del orden del 30%, en ambiente de rocas metamórficas.

Al descender, atraviesan terrenos terciarios, sus pendientes, se suavizan, alcanzando valores del 10%, hasta que salen al valle de Santa María, donde comienzan los depósitos de pie de monte.

En este entorno se desarrolla la cuenca del río Ampajango, cuyas nacientes se ubican en el Abra del Toro (4000m) y el C° Media Agua (5050m) el que tras recorrer unos 22km. desemboca en el río Santa María.

En cuanto al comportamiento de este río y de los aportes que ingresan a su cuenca de 160 km², la información con que se cuenta, es discontinua y dispersa en el tiempo.

En efecto, al no contarse con estación pluviométrica en la cuenca, se deben tomar los datos de la estación mas cercana, en este caso Pié de Médano.

La PLANILLA N° 1 registra para la región, en un lapso de 24 años (1979-80 / 1991-92 y 1993-94 / 2003- 04) una media pluviométrica de 150,09 mm/año. En cuanto al derrame anual, la PLANILLA N° 2, de Agua y Energía Eléctrica, constituye un buen registro, en un lapso de 11 años (1948-49/ 1951-52 y 1954-55/1960-61) de los caudales medios mensuales para ese periodo, resultando un caudal medio anual para el río Ampajango de 0,339 m³/s.

En la LÁMINA N° 3: Precipitación media (mm/mes) / caudal medio (m³/s), se representan estos registros.

Las curvas A y B, las que si bien corresponden a períodos bastante separados en el tiempo (20 años), muestran muy buena relación entre las lluvias caídas en la cuenca y los caudales que llegan al valle.

Recientemente, desde Abril de 2001, la provincia reinició los aforos en la clásica sección del río Ampajango, 100 metros aguas arriba del destruido azud. Los datos se muestran en la PLANILLA N° 3.

La muy incompleta serie del 2002-03, representada también en el gráfico por la Curva C (sólo ilustrativa, en realidad datos puntuales dispersos) permite, aun así, inferir que el derrame anual, fue en este lapso inferior a la media de la década del 50-60 (Curva B) y estimar que esta sería la tendencia actual, en un todo de acuerdo con la sequía que afecta a la región en general y a la cuenca en particular. Al respecto, la Información de la Estación Pie de Médano, viene registrando desde 1999 pluviosidad anual en el área inferior a la media histórica (150,09 mm/año) PLANILLA N° 1.

Por lo tanto es menester continuar y no interrumpir la toma de datos (aforos) en el Ampajango y programar la instalación de un pluviómetro en el área media de la cuenca.

Mientras tanto, se considera válido tomar los datos obtenidos de distinta documentación confiable:

Superficie cuenca del Río Ampajango: 160 km² (calculada sobre la Imagen satelital)

Agua anual caída en la cuenca: 24,1 Hm³ / año

Escurrimiento anual sobre la cuenca: 66,9mm / año

Derrame Anual Promedio: 10,7 Hm³ / año

Coefficiente de Escorrentía: 0,44

Módulo del Río Ampajango: 0,339m³/s

El conocimiento de estos valores, en especial el derrame anual es muy importante, pues permite ir generando la idea sobre el real volumen de vaso necesario para almacenar y regular las aguas del río.

5.3 Geomorfología

Dos grandes unidades fisiográficas dominan el área, el cordón montañoso Aconquija-Cumbres Calchaquies y la Sierra de Quilmes o del Cajón, elementos estructurales positivos separados por la estrecha y larga depresión del Valle de Santa María.

La estructura de bloques de estos sistemas determina una morfología propia de Sierras Pampeanas, caracterizada por un perfil asimétrico de bloque fallados y volcados hacia el Este, dando una pendiente suave en ese sentido y una abrupta en la vertiente occidental.

Las culminaciones no presentan aristas, sino que mas bien se corresponden con una antigua semiplanicie madura.

Dentro del valle, un grupo de cerros más bajos, aparece ampliamente disectados por los sistemas fluviales que en sentido SE-NO bajan de los antiguos macizos, dejando al descubierto las rocas plegadas del Grupo Santa María. Justamente este ciclo fluvial posterciario dejó como resultado la acumulación de niveles pedemontanos.(terrazas fluviales).

Estas terrazas pertenecen a tres ciclos diferentes: La primera, de escasa significación, aparece en la periferia del proyecto.

No así la segunda, compuesta de fanglomerados gruesos, llega casi hasta el río Santa María.

La tercera tiene aun mayor extensión, formada por la coalescencia de viejos conos de deyección.

Breve descripción de los elementos morfoestructurales mencionados.

Sierra del Aconquija.

Constituye el elemento orográfico más destacado de la región. Su falda occidental, compuesta por micacitas muy inyectadas, alcanza los 5064 metros en el monte del Zarzo. Aquí, el rumbo de la esquistosidad es N 45° y buza al Este.

En su faldeo oriental, las micacitas están también inyectadas y la característica diferencial respecto de la primera, es la muy abundante presencia de filones pegmatíticos. La esquistosidad tiene rumbo N 5° y buza al Este.

Las Cumbres Calchaquíes

Situadas al Este del Sistema del Aconquija, con litología y estructura similar a esta, alcanza sus mayores alturas frente a la Quebrada de Amaicha en el C° Alto la Mina con 4762 metros.

Sierras del Cajón o de Quilmes.

Este cordón morfoestructural de altura promedio de 3500 metros, está enmarcado entre dos fallas submeridionales, entre las cuales se ajusta el valle del río Santa María desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Calchaquí.

Valle del Río Santa María.

Estrecha depresión de unos 15 a 25 Km. de ancho, dispuesto entre dos fallas de empuje de rumbo NNE-SSW. En ella desaguan todos los sistemas hidrográficos de la vertiente oriental de las Sierras de Quilmes y la occidental del Aconquija.

En el mismo es notable la presencia de los afloramientos terciarios y cuaternarios ampliamente disectados por los cursos de agua que discurren hacia el valle.

Un rasgo resaltante son las terrazas modernas que dominan todo el valle, constituidas por fanglomerados gruesos a finos hasta depósitos arenosos y loessicos poco disectados.

El río Santa María lleva agua todo el año, aunque su caudal es exiguo en estiaje. Los caudales más importantes le llegan desde la vertiente occidental de la Sierra del Aconquija, siendo los principales, el río Caspichango, Entre Ríos, Andalhuala y el Ampajango.

5.4. Estratigrafía

Regionalmente se encuentran rocas de distinta naturaleza y edad, que conforman los siguientes grupos geológicos.

Precámbrico.

Basamento Cristalino.

Constituido por rocas metamórficas, ígneas intrusivas y rocas de mezcla (migmatitas) estas últimas las más abundantes en el área de proyecto, constituyen el grueso de los cordones de Quilmes y del Aconquija y conforman la cubeta de depositación de todas las formaciones sedimentarias, más modernas, del valle de Santa María.

Cenozoico.

Terciario Superior.

Grupo Santa María.

Lo constituyen una serie de Formaciones Sedimentarias cuyos materiales van desde conglomerados hasta arcillas, están plegadas y falladas por lo que no es posible calcular su espesor verdadero y muchos de estos estratos encierran restos fósiles, lo que ha permitido su mejor ubicación cronológica.

Una descripción pormenorizada de estas Formaciones puede consultarse en el trabajo de Ruiz Huidobro, Hoja 11e. (1).

Se mencionan según su orden cronológico decreciente:

- a. Fm. Saladillo
- b. Fm. San José
- c. Fm. Lorohuasi
- d. Fm. Las Arcas
- e. Fm. Andalhuala
- f. Fm. Yasyamayo
- g. Fm. Los Corrales
- h. Fm. Zanja del Molle

Sólo las dos últimas están involucradas en el proyecto.

La Fm. Los Corrales aflora en la cuenca alta, zona de aporte, y se apoya discordantemente sobre el basamento metamórfico, son brechas gris oscuras compuestas por clastos de origen volcánico y matriz areno arcillosa.

La Fm. Zanja del Molle, es la de mayor interés, ya que no sólo aflora en el tramo inferior de la quebrada del río Ampajango, sino que también en el cuenco natural ubicado sobre la margen izquierda del río. FOTOS N° 4 Y N° 6

Compuesta por un conjunto de sedimentitas clásticas desde conglomerados polimícticos, con clastos desde gravilla a bloques de 20cm o mayores, matriz arenosa y no siempre cemento calcáreo, intercalados con areniscas micaceas grises, a veces conglomerádicas, poco o nada cementadas, por lo que presentan un conspicuo carácter disgregable.

Las observaciones y pruebas de campo, indican que estas areniscas serían las de menor resistencia mecánica.

Cuartario.

Estos sedimentos se encuentran en posición normal cubriendo discordantemente a las sedimentitas terciarias.

Ocupan gran parte del valle de Santa María y corresponden a cuatro niveles pedemontanos principales.

Fm. La Mesada.

Este primer nivel al igual que el segundo, son remanentes de antiguos abanicos coalescentes constituidos por fanglomerados adosados al borde de la sierra.

Fm. Las Salinas.

Es el segundo nivel, aflora en el área de proyecto, es un fanglomerado polimíctico, compuesto por roca de basamento y matriz areno limosa, labrado sobre las formaciones terciarias plegadas, constituyen la porción cuspidal de muchos sitio confiriendo una morfología mesetiforme.

En el área de proyecto se encuentra cubriendo discordantemente las rocas de la Fm Zanja del Molle, con taludes muy parados, subvertical a vertical, en general

con varios metros de espesor y carácter polimictico grueso, constituido por rodados y bloques, aglomerados por material limoarenoso. FOTO N° 7.

Fm. Caspichango

El tercer nivel ocupa una amplia superficie entre los macizos del Aconquija y del Cajón, compuesto por sedimentos más finos que los anteriores - gravas gruesas hasta arenas gruesas a medianas- mal seleccionadas, constituyen los conos de deyección más nuevos que bajan al valle.

En estos abanicos, tanto en las fotos como en las imágenes, se observan sectores, donde por la textura y color, puede inferirse la presencia de sedimentos más finos, limosos o eventualmente limoarcillosos.

Fm. Las Mojaras.

Cuarto nivel, constituido por depósitos arenosos y limosos, de los cauces actuales del río Santa María y sus afluentes

5.5. Estructura

Los movimientos tectónicos y orogénicos determinaron en esta región dos tipos de estructuras, a saber:

- 1- La estructura interna del basamento del primer ciclo distrófico en tiempos precámbricos.
- 2- La estructura combinada de plegamiento de la cubierta sedimentaria y fracturación en bloques del basamento rígido acaecido durante el terciario y cuartario.

En el primer ciclo, confirió a las metamorfitas una esquistosidad de rumbo general NW e inclinación hacia el E con valores entre 15° y 45°.

Se da aquí la estructura dominante en la mayoría de los cordones de Sierras Pampeanas, esto es, bloques de basamento volcados hacia el este cuyas fallas principales se ubican al pie de las faldas occidentales de las citadas elevaciones.

La falla del Aconquija de rumbo general NNE, se ubica relativamente fácil por la presencia de los sedimentos terciarios. Su rechazo, superior a los 3000 metros,

coincide con el de la cubierta pleistocena del Grupo Santa María. Esta falla es interrumpida al norte por las estructuras transversales que dieron lugar a la fosa tectónica Tafi del Valle - Amaicha del Valle.

Al oeste, paralela a la primera se desarrolla la gran falla que enmarca el flanco oriental del cordón de Quilmes o del Cajón. Ambas delimitan el valle del río Santa María.

Los movimientos responsables de la fractura en bloques del basamento, determinaron también el plegamiento y fracturación de la cubierta sedimentaria pliocena, cubierta hoy en gran parte por los sedimentos terrazados de pedemonte cuaternarios.

El rumbo general de los estratos es NNE, aunque hay notables variaciones del mismo en función de una serie de fallas transversales que han producido cambios del mismo.

En el área de estudio se han medido para estos estratos rumbos entre N35° y N 47°, con inclinaciones entre 36° y 45° ESE, valores que, en primera instancia resultan favorables para las expectativas del proyecto. FOTO N° 7.

Si bien predomina la estructura monoclinial, en el Este los estratos se disponen según un amplio y largo sinclinal, cuyo eje de sentido NNE-SSW intercepta la quebrada de Ampajango unos 1000 metros aguas abajo de la confluencia de los Arroyos Abra del Toro y C° Media Agua.

La falla submeridiana, observada y bien definida entre las latitudes de las localidades de Santa María - San José, en el área de Ampajango, pierde expresión y su traza puede seguirse hacia el sur, según unos tramos rectos que limitan el borde de la sierra y el inicio de los depósitos de pedemonte.

Este lineamiento atraviesa el cuenco lateral en su porción inferior. Trabajos de campo, han permitido ubicar en la margen izquierda del río y en los bordes del cuenco lateral, zonas de falla interestratales, de alto ángulo y de escasa potencia, que pueden tener relación con este lineamiento

El carácter plástico de estos depósitos relativamente recientes, queda claro, ante el dominio del estilo de pliegues, aunque puntualmente y a escala local, se

observan, sobre todo a lo largo del río, estratos fallados, mostrando cambio de inclinación a ambos lados del plano, evidenciando, en estos casos cierta fragilidad de los paquetes sedimentarios. FOTO N° 9.

Son frecuentes, en el tramo medio del proyecto, algunos paquetes conformados por estratos de distinta competencia, en estos casos alternan areniscas finas claras con niveles pelíticos mas oscuros. FOTO N° 8.

GEOLOGIA DEL AREA EN ESTUDIO

6. GEOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO

6..1. Litoestratigrafía

En el Area de proyecto se han podido establecer las siguientes Unidades maleables:

TERCIARIO

GRUPO SANTA MARIA

Fm. ZANJA DEL MOLLE

Las sedimentitas presentes en el Area de proyecto, tanto en la quebrada del río Ampajango, como en el cuenco lateral de margen izquierda, corresponden a los términos que Ruiz Huidobro denomina Fm. Zanja del Molle.

En forma general se pueden describir como una serie de sedimentitas clásticas y pelíticas, de granulometría muy variable entre conglomerados gruesos hasta pelitas limosas inter estratificadas, enmarcados en un sistema tectónico monoclinal monótono, de rumbo general NE e inclinaciones medias del orden de los 36° a 47° al SE.

Tan amplio rango de variación de la textura de los cuerpos sedimentarios, se corresponde con un ambiente de tipo fluvial con periodos de alta dinámica, donde se depositaron conglomerados y areniscas de distinta granulometría y otros de baja energía, donde primaron sedimentos finos, limos y arcillas, incluso de alta aridez, como lo denota la presencia de yeso.

En función de esta diversidad litológica y con el fin de que los estudios conduzcan a establecer una clasificación geotécnica que permita obtener parámetros validos para el proyecto de las obras, se ha discriminado a esta Unidad Formación al en Zonas con características propias adjudicándoles una denominación local. PLANO N° PA - IF - 03.

ZONA 1: Areniscas finas a medianas grises, con areniscas conglomerádicas y conglomerados con clastos de 1,0 cm. a 10cm, subordinados.

ZONA II: Areniscas finas y muy finas grises y amarillas a rojas con intercalaciones pelíticas verdes y rojas.

ZONA III: Areniscas conglomerádicas, con clastos de 0,5cm a 4,0 cm. grises, con areniscas finas a medianas y pelitas intercaladas y conglomerados, subordinados.

El PERFIL A-B, a escala de la planimetría, 1:2500, a lo largo del eje mayor de la depresión y aproximadamente perpendicular al rumbo de los estratos, permite visualizar, las tres Zonas Geológicas, su estructura monoclinial hacia aguas arriba de las futuras obras, la presencia relativa de unas y otras litologías y la falla en el área de conducción al embalse. PLANO N° PA - IF - 03

Descripción de las ZONAS

ZONA I: Areniscas finas a medianas grises, con areniscas conglomerádicas y conglomerados con clastos de 1,0 cm. a 10cm, subordinados.

Comprende a grupos rocosos que afloran en la quebrada del río Ampajango, desde aguas arriba del área de toma y gran parte del sector correspondiente a la conducción al vaso.

Litológicamente lo conforman paquetes sedimentarios, con amplio dominio, alrededor del 70%, de areniscas mal seleccionadas, de granulometría gruesa (hasta 2mm) a fina y porcentaje de finos menores al 10%.

Se ha observado, en pruebas de campo y ensayos de laboratorio, que la presencia de este cemento es discontinua. No obstante, le otorga a estas rocas y al resto de los términos de la Zona I cierta resistencia mecánica.

Este carácter, se expresa en las márgenes del río Ampajango, desde antes del sitio de toma y hacia aguas arriba donde se forma un cañón con paredes abruptas y lisas, propias de materiales tenaces, al igual que el estilo del cuenco lateral en su porción superior, conformando un amplio circo con pendientes muy paradas, así como algunas elevaciones dentro del mismo con paredes subvertí cales de hasta 20 metros de altura.

Como consecuencia la red de drenaje es aquí poco sinuosa e incisiva formando profundos corredores en la roca que por lo general aparece desnuda o con muy poco sedimento suelto donde siempre es posible advertir la presencia del sustrato rocoso.

El material suelto, por lo general lo constituyen arenas y gravas producto de la destrucción de los propios bancos de cierto carácter deleznable y bloques y canto rodado producto de la destrucción y transporte cuenco abajo del fanglomerado cuartario, que sólo persiste por arriba de la cota 1190 y prácticamente, salvo en la zona de la toma, no aparece en el área del proyecto.

Le siguen en abundancia areniscas conglomerádicas finas a gruesas, con estratificación grosera pero bien marcada, algo más cementadas y coloración gris clara, constituyendo alrededor del 20 % del total.

El resto, aproximadamente un 10%, lo componen conglomerados polimicticos, finos a gruesos. Son los de mayor cementación, presentando en muchos casos un aspecto de gran resistencia mecánica y de hecho sus bancos generalmente muestran relieve positivo, generándose resaltos topográficos bien marcados, en los sitios donde ocurren caídas esporádicas de agua. FOTONº 10.

No obstante, conviene resaltarlo, la matriz de estas areniscas conglomerádicas y conglomerados, no difiere mucho de la composición (calidad y granulometría) de las areniscas dominantes y en especial en cuanto al grado de cementación.

Si bien puede establecerse una apreciable variación del mismo entre unos y otros, no es un factor suficiente para discriminar cuerpos según su abundancia y distribución.

Además, estas sedimentitas y en general todos las del proyecto, por acción de la fuerte meteorización propia de zonas áridas, suelen presentar superficialmente y hasta algunos decímetros aspecto de rocas friables a muy friables

Aquí, como en el resto de las Zonas, el elemento estructural y geotécnico de importancia relevante es el estrato, por sobre cualquier otra discontinuidad y es el que determina el estilo de la red de drenaje, el paisaje y el comportamiento mecánico del macizo.

Estos bancos, dispuestos según un rumbo dominante N 40 a 45° e inclinaciones medias entre 36 a 47° al SE, se los puede individualizar en muchos casos en decenas y aun centenas de metros de longitud en el sentido del rumbo, con espesores medios de 1,0 a 1,5 metros, con intercalaciones, menos frecuentes, de areniscas más finas, de entre 0,1 / 0,5 metros de potencia.

En las areniscas conglomerádicas la estratificación es mas basta y menos marcada y en los conglomerados menos aun, alcanzando espesores entre 0,2 metros hasta mayores a 2,0 metros, siendo lo común valores entre 0,5 y 1,0 metros.

ZONA II: Areniscas finas y muy finas grises y amarillas a rojas, con intercalaciones pelíticas verdes y rojas.

Ocupa aproximadamente la porción media del cuenco lateral y respecto al proyecto corresponden a gran parte de la superficie abarcada por el vaso del embalse.

Morfológicamente, si bien existen sectores altos, son característicos amplios espacios deprimidos y más o menos planos, especialmente en su área central, donde su piso es una alternancia de roca desnuda y colchones de fino material pelítico suelto.

Litológicamente, constituyen estratos de areniscas finas y muy finas, intercaladas con frecuentes niveles pelíticos, de carácter limoarcilloso. Términos de mayor granulometría están poco presentes.

Representan ambientes de depositación semiáridos a áridos, caracterizados por secuencias bien estratificadas de areniscas finas y muy finas, micáceas, que le dan grosera fisilidad, hasta arcillas y limos, algunos de éstos con gran fisilidad. En ciertos casos se han observados niveles evaporíticos (yeso). Sus colores gradan de los grises al amarillo, naranja y rojos.

En cuanto a la abundancia de estos materiales, corresponde un 75 % a los clásticos finos y un 25 % a los pelíticos.

Es posible observar frecuentemente paquetes donde intercalan con areniscas capas limoarcillosas de 0,1, 0,2 y 0,5 metros de espesor individual, constituyendo en total el 40 % del afloramiento. FOTOS N° 8 y N° 11.

Sometidas a saturación en agua algunos días, muestran notoria tendencia a la desagregación y a la fisilidad y son poco plásticos a no plásticos.

Sin embargo, debe aclararse, que esta característica lo presentan los materiales más finos, en muestras de mano y sin confinamiento alguno. En estado de confinamiento su comportamiento no sería similar al referido.

Todos los materiales de la región observan severa acción del intemperismo, en especial los de esta zona, donde muchos de ellos muestran fuerte fisilidad y/o agrietamientos, disgregabilidad y colores intensos del orden del rojo y sus variantes, mientras que muestras algo mas confinadas, observan rápida disminución de este carácter acompañado de gradación del color a tonos del marrón al gris verdoso.

El espesor promedio de los bancos pelíticos es de 0,5 metros, aunque los hay menores al decímetro y otros que superan los 2 metros. Así, en la porción SW del cuenco, un paquete de limoarcillas, duras y compactas, verdes y amarillas, con evidente fisilidad, supera los 4 metros de potencia. Aquí también ya aparecen areniscas conglomerádicas y conglomerados finos, propios de la Zona I.

Si bien una porción de las mismas tiene alguna plasticidad, éstas y el resto de las observadas en el área no evidencian signos de ser expansibles.

Esos materiales desaparecen unos 200 metros aguas arriba del Eje de Cierre Variante I, culminando con la presencia de una conspicua costilla de unos 20 metros de alto donde bancos de areniscas amarillas alternan con arcillas rojas. FOTO N° 12.

Los bancos de areniscas cuyos espesores oscilan entre los 0,5 y 1,5 metros se caracterizan por la baja cementación de sus clastos y el carácter disgregable y fisilidad de los estratos pelíticos hacen que los materiales de esta zona sean los menos resistentes del proyecto

ZONA III: Areniscas conglomerádicas, con clastos de 0,5 cm a 4,0 cm., grises, con areniscas finas a medianas y pelitas intercaladas y conglomerados, subordinados.

Estos materiales constituyen el tercio final del cuenco lateral de margen izquierda y sólo desaparecen, al igual que en la quebrada del río Ampajango, al ser cubiertos por los depósitos cuaternarios (fanglomerados) y de pedemonte del Valle de Santa María.

El carácter conglomerádico se acentúa hacia el NW, ya que en contacto con la Zona II son mucho más frecuentes areniscas y areniscas conglomerádicas, notándose un aumento granulométrico gradual desde la zona III, más viejos a los de la Zona II, más nuevos, no habiendo evidencias de interrupciones de la secuencia sedimentaria.

Estas rocas, las más antiguas de la Fm. Zanja del Molle que afloran en el área de proyecto, son las más tenaces y consecuentemente las variantes alternativas de cierres del cuenco se encuentran en esta Zona III.

En cuanto a su abundancia relativa, existe un 50% de areniscas conglomerádicas, 20 % de conglomerados, muchos mas frecuentes en el sector NW del plano y un 30 % de areniscas.

Las areniscas son en general finas a medianas y la matriz de los conglomerados y areniscas conglomerádicas es granulométricamente parecida a la textura de las primeras. Lo mismo ocurre con el cemento calcáreo, escasa e irregularmente distribuido en estas sedimentitas.

Al igual que en la Zona I, el cemento calcáreo, confiere a estas rocas una resistencia importante, que condiciona una cierta erosión lineal y la aparición de saltos topográficos cuando la roca afectada son conglomerados, hecho que se observa con frecuencia en los dos cañadones que conducen desde el interior del cuenco hacia el valle de Santa María.

La fracción clástica gruesa de conglomerados y areniscas conglomerádicas es de origen polimictico, sus clastos provienen de la destrucción de granitos, gneisses y vulcanitas, están redondeados y muestran muy baja alteración, por lo que deberá

apuntarse al estudio de la matriz de estos y a las areniscas ya que aquí se considera reside la mayor debilidad del macizo, en cuanto a sus condiciones físicas y mecánicas.

En esta secuencia aparecen intercalados finos niveles pelíticos. Su frecuencia y espesor aumenta considerablemente hacia el NW, hacia la salida de la depresión, como lo muestran los perfiles de detalle del área de cierres.

En efecto, entre los bancos clásticos mas finos, se detectan niveles pelíticos marrones y rojos los que gradan a verde en muestras confinadas.

En sitios contiguos a la Zona II, alcanzan algunos centímetros, entre 5 y 50 centímetros hacia el centro de la zona y hacia el sector distal del cuenco se ha observado la presencia de un banco de 80 centímetros de potencia.

Ensayos simples de campo, comprueban su carácter fisible y muy baja plasticidad, aunque no evidencian signos de expansividad.

No obstante, dada la posición espacial de estos estratos, transversal al valle e inclinación hacia aguas arriba, es poco probable la idea de relacionarlos con potenciales deslizamientos.

En los relevamientos de detalle de las variantes de cierre, su detección, potencia y muestreo, fue tenido muy especialmente en cuenta y aunque por la escala no podrían representarse, se recurrió a su graficación junto a una leyenda que indica su espesor en centímetros.

CUARTARIO

Fm. LAS SALINAS

Es el Segundo Nivel de terraza, descrito por Ruiz Huidobro en la Hoja 11,e. Es un fanglomerado polimíctico, los clastos, que alcanzan los 30 cm. de diámetro, son rodados de granitos, vulcanitas y gneisses pertenecientes a basamento y la matriz es areno limosa, gris oscuro a negra.

Se dispone discordantemente sobre las rocas del Grupo Santa María constituyendo normalmente la porción cuspidal de la secuencia, confirmando al

paisaje una morfología mesetiforme subhorizontal o con cierta inclinación otras veces.

Sus frentes dan taludes muy parados, verticales a subverticales, pero por su carácter suelto es fácilmente degradable por la acción de aguas de arrollada.

Sus detritos gruesos forman parte de los sedimentos de los cañadones.

En el área del proyecto aflora solamente en la zona de toma, sobreyacen a las sedimentitas de la Zona I y por su posición topográfica y estructuralmente elevada, no presentan algún tipo de problema para el mismo. FOTO N° 13.

Depósitos Recientes

Aluviones Actuales

Corresponde a los sedimentos actuales del río Ampajango, compuestos por arenas medianas a gruesas, canto rodado y bloques de origen polimictico, algunos superiores al m³, provenientes de la destrucción de rocas de basamento y en mucho menor medida de las sedimentitas pliocenas.

También se encuentran formando parte de la somera cubierta de los cañadones del interior del cuenco lateral, producto del arrastre de esporádicas corrientes de aguas muy violentas pero de efímera duración. Su espesor puede superar el metro, pero siempre es posible observar lateralmente el sustrato rocoso.

Depósitos de Talud

Finalmente se mencionan los sedimentos que se desprenden de las laderas del cauce del río Ampajango y del cuenco lateral y que generalmente se mezclan y confunden con los aluviones.

6.2. Estructura

Como se indicara, el área está afectada por la acción combinada del plegamiento de los sedimentos terciarios y la fracturación de los bloques del basamento rígido, éste último con efectos diferenciales sobre los depósitos pliocenos del grupo Santa María.

En el Terciario y tardíamente hacia el Cuartario, se produce la perturbación tectónica de los estratos continentales del valle de Santa María, los que

conformaron una estructura monoclinas, al menos en el sector de proyecto, de rumbo general NE, cuyos valores medios están entre N 40° y N 45° e inclinaciones del orden de los 36° a 47° hacia el SE.

Esta estructura condiciona en algunos casos el rumbo del río Ampajango, el que suele variar su rumbo general NW, tomando localmente dirección NE.

Así mismo el cuenco de margen izquierda, cuyo origen parece ser producto de la acción combinada de la deflación eólica y de muy esporádicos torrentes que ocurren en la época de lluvia, muestra un drenaje general con sentido según su eje mayor. Sin embargo, en otra escala, como lo muestra el plano topográfico, su morfología intrincada de pequeñas quebradas transversales a la red principal, muestra el condicionamiento de ésta a la estructura sedimentaria.

PLANO N° PA-IF- 03.

Así en fotos aéreas y en la planimetría se diferencian una serie de costillas conspicuas, de rumbo general NE, algunas de gran continuidad, superando en ciertos casos los 1.000 metros de extensión.

En función de esto y de la mayor compacidad y cementación de ciertos bancos rocosos, se da la ocurrencia de "narices" muy evidentes, no sólo por su carácter positivo y elongación según el rumbo de la estratificación, sino también por la morfología del drenaje superficial principal el que debió migrar lateralmente a la estructura hasta encontrar algún factor de debilidad en el macizo y así atravesar el obstáculo.

Este aspecto es propio y de cierta exclusividad de la Zona III, donde como se describiera, se observan los bancos más resistentes.

Estos aspectos morfoestructurales, son importantes para el proyecto y de hecho las variantes seleccionadas y evaluadas como cierres alternativos presentan las características apuntadas. FOTO N° 14 y FOTO N° 15.

En cuanto a estructuras de dislocación, merecen mención aquellas de rumbo NE hasta casi meridional, descritas por Ruiz Huidobro en su Hoja 11, e Santa María, que corresponderían a respuestas de distensión ante los esfuerzos provenientes del oeste producto de la orogenia andina.

Al respecto, la información antecedente, fotográfica e imágenes, al igual que los relevamientos de campo, indican que éstas, observadas y medidas en el centro y norte de la Hoja, están muy atenuadas en el sur, zona del proyecto,

Podría asociarse a este esquema, un lineamiento de corta expresión, que habría inducido la formación del cañadón ubicado al NE del Plano Geológico, el que desciende desde el portezuelo que separa al cuenco lateral de la margen izquierda del río. El rumbo general de esta falla es N 30° a 35°, su posición interstratal y su potencia inferior al metro.

Hacia la cota 1090, sobre su traza, aflora un pequeño manantial entre los límites de material arcilloso que separa términos areniscosos competentes. El agua se insume rápidamente volviendo a aflorar unos 300 metros cañadón abajo en cota 1070, su presencia es mínima, pero se observa un sector húmedo y muy apreciable superficies con eflorescencia de sales, que sugiere mayores volúmenes de agua en la temporada húmeda. Finalmente vuelve a aparecer y su presencia es mas importante (5 a 10 l/min) hacia la cota 990, en la salida del cuenco, sector norte del plano. FOTO N° 16

Esto indicaría que aquellos volúmenes de agua que ingresan al cuenco a través de estructuras como la mencionada, se insumen apenas, circulando entre la escasa cubierta detrítica que tapiza la depresión, volviendo a salir a la superficie a la salida al valle donde el sustrato rocoso, está poco cubierto o directamente expuesto.

Si bien otros cañadones presentan dirección y morfología semejante a las apuntadas, no se ha observado la presencia de dislocaciones ya que en ningún caso se verifican vertientes u otro elemento de juicio que indiquen la presencia de fallas.

6.3. Procesos de remoción en masa

En el área de proyecto no se observan procesos de remoción en masa importantes.

Sólo debe mencionarse al respecto, los depósitos sueltos producto de la destrucción de los fanglomerados cuaternarios.

Los mismos se componen de una matriz arenosa limosa, que engloba clastos polimícticos gruesos desde bloques a canto rodado y grava, de aspecto compacto pero suelto, sin cementación alguna. Presentan un perfil muy parado, conformando la barda superior de gran parte de los márgenes del río y de los bordes del cuenco lateral, los que salvo en la zona de toma caen fuera del área mapeada.

Aquí, por acción eólica e hídrica esporádicas combinadas, se produce la destrucción de este cuerpo sedimentario, esencialmente suelto, cuyos detritos caen a los bajos

Como resultado es dable observar frecuentemente en las laderas y depresiones del cuenco bloques y rodados, producto de la destrucción y transporte de estos conglomerados.

AREAS DE ESTUDIO DEL PROYECTO

7. AREAS DE ESTUDIO DEL PROYECTO

Por sus características, este proyecto consiste en la captación de las aguas del río Ampajango, su derivación a una depresión lateral sobre su margen izquierda, su embalse mediante obras de cierre y su regulación y conducción al sistema de canales de riego y agua potable.

Por esto se lo ha dividido en las siguientes áreas de estudio:

- Area de Captación y Derivación
- Area de Vaso
- Area de Cierre
- Area de Conducción al Sistema de Distribución

7. 1. AREA DE CAPTACION Y DERIVACION

7.1.1. Introducción

El río Ampajango discurre aquí en sentido SE-NW entre paredones rocosos que alcanzan frente a la estación E21 la cota 1190. Desde allí el cañón se ensancha a la vez que la margen izquierda pierde altura, hasta alcanzar su punto mínimo unos 250 metros aguas abajo donde existe un pequeño portezuelo a escasos 15 metros de altura por sobre el nivel medio del río.

Allí tiene su cabecera un cañadón, que en su primer tramo tiene una longitud de 350 metros, rumbo general N 210° y una pendiente cercana a los 10°, el que constituye la comunicación más franca entre el río y el cuenco lateral de margen izquierda.

Iniciados apenas estos estudios, se recorrió el área junto a profesionales de proyecto de la Provincia de Catamarca, concluyéndose que la comunicación mas viable entre las aguas del río y la depresión lateral era posible a través de una obra de captación a nivel y transversal al río y su inmediata derivación al cuenco mediante un túnel que atravesase el abra con mínima pendiente (1%). De allí en más las aguas serian conducidas a cielo abierto hasta el embalse.

7.1.2. Geología.

Este sector es dominio de la ZONA I, Areniscas finas a medianas grises, con areniscas conglomerádicas y conglomerados con clastos de 1,0 cm. a 10 cm, subordinados.

La posición promedio de los bancos es aquí N 40° a 45° SE, el Perfil Q-R longitudinal a las obras de Captación y Conducción en su primer tramo indica que la tapada de aluviones en el río sería de unos 2 a 3 metros, punto de fundación de la toma de aguas.

La margen izquierda del río, en condiciones normales, lo constituye un bordo de 2,50 metros de altura y 7 a 10 metros de ancho, conformado por una arenisca fina a mediana, con cemento calcáreo y aspecto tenaz.

Su frente constituye el sitio de embocadura del túnel hacia el cuenco lateral.

FOTO N° 13

Los próximos 75 metros corresponden a la cubierta de aluviones del cauce de crecidas y en parte a derrubios de talud, estimándose una tapada máxima de unos 3 a 6 metros.

El túnel alcanza la superficie a unos 130 metros de la embocadura, con una tapada máxima de rocas de 15 metros, correspondiendo a areniscas medianas conglomerádicas compactas.

Este cañadón se formó a expensas de una falla, cuyo ancho visible del material arcilloso es de unos 0,80 metros e inclinación semejante a la de los estratos. Su morfología es mas abierta y plana (5 -10 metros) cuando corta sedimentos más débiles y más estrecho y profundo (1-2 metros) cuando más resistentes, en general conglomerados. FOTO N° 17.

Todo este tramo muestra la roca desnuda o con muy escasa cubierta aluvional.

Finalmente el cañadón toma rumbo N 300° a 310°, directamente hacia la depresión, alcanzando la cola del embalse. En la zona de quiebre del rumbo, se observa buena calidad de roca, atribuyéndose su desvío a una serie de diaclasas de posición N330/80° NE.

El Perfil Geológico R-S de dirección casi perpendicular a la estructura sedimentaria permite una descripción detallada de las litologías presentes.

Hasta la progresiva 200 corresponden a términos de la Zona I, rocas de grano fino a grueso, resistentes a la abrasión caracterizando una morfología cerrada y abrupta del mismo.

Los últimos 100 metros interesan terrenos de la Zona II, el canal se ensancha considerablemente, la pendiente se suaviza y aparece una somera y discontinua cubierta aluvional. FOTO N° 18.

Dominan aquí areniscas finas y comienzan las intercalaciones pelíticas rojas.

Importante volumen de bloques y canto rodado grueso, constituyen el derrubio de talud de este cañadón. Este material, cuyo origen son las rocas de basamento, de escasa meteorización, se constituyen como muy adecuados para la construcción de obras de disipación de energía de las aguas que bajarían a cielo abierto por una pendiente que alcanza los 10° de inclinación y los supera puntualmente.

7.2. AREA DE VASO

7.2.1. Introducción

En función de los estudios llevados a cabo se proponen o definen dos alternativas de Cierre, Variante I y Variante II, la última aguas abajo de la primera y con idéntica cota de coronamiento, 1050 metros. FOTO N° 19.

En consecuencia se definen dos posibles vasos, uno de ellos incluido en el otro de características mayores.

7.2.2. Geología. Variante I

La Variante I contempla un vaso cuya capacidad máxima, a cota de coronamiento (1050) es de 2,5 Hm³ y un espejo de aguas de 25 Ha. PLANO N° PA - IF - 04.

Está conformado por dos depresiones cuyo drenaje principal atraviesa la estructura sedimentaria perpendicularmente, con pendientes del 2,3% para el Cañadón Principal y del 4,0 % para el Cañadón Sur. El drenaje secundario en cambio es subparalelo a la misma.

Morfológicamente son cubetas donde el sustrato rocoso está muy expuesto o con pobre cubierta en los sectores bajos.

Litológicamente, más del 80% lo conforman rocas de la Zona II, areniscas finas y muy finas, con intercalaciones pelíticas rojas con fisilidad, sin o muy baja plasticidad y carácter disgregable.

Por ser rocas más débiles, estos cañadones que se originan en puntos más altos, fuera de la Zona II, alcanzan aquí su mayor expresión areal.

La porción distal del vaso corresponde a rocas medianas a gruesas de la Zona III, con cemento calcáreo, tenacidad apreciablemente mayor y pobre cubierta aluvional.

7.2.2.1. Estanqueidad del vaso

Esta condición debe evaluarse desde tres puntos de vista: topográfico, estructural y litológico.

Topográfico:

Los cierres se han planteado, con cota de coronamiento 1050.

A esta cota el relevamiento topográfico revela en el sector SW un escape, cuyo ancho es de unos 95 metros y la cota mínima de este abra es 1034, lo que obliga a dotar al proyecto de un cierre secundario de una altura máxima de 16 metros y ancho mínimo de 100 metros. (Punto 7.3.3. Cierre Secundario)

No existen otros sitios del proyecto con particularidades semejantes.

Estructural

Como se explico en el Punto 6.2. Estructura, no se ha observado posibles escapes estructurales en el área de vasos. Las quebradas laterales, las que tienen acusada pendiente hacia el interior de la depresión, no muestran signos de fracturación o elementos de otra índole que lo indiquen

Los sistemas de diaclasas, son cerradas, de geometría plano-rugosa y corta extensión. Sólo tienen expresión en los sitios elevados y descomprimidos donde son resaltadas por las raíces de los arbustos leñosos que las penetran.

Se destacan indicativamente tres familias. Su posición promedio es:

1- N 135° / 70-90 SW.

2- N140° / 70-90 NW.

3- N20° / 70° SW.

Su influencia es restringida dada su alta inclinación y baja frecuencia (1 cada 2,0 a 2,5 metros)

El estrato, en cambio es el dominio estructural del sistema. El relevamiento geológico ha revelado una disposición apretada de los bancos, con contactos roca-roca, cuya potencia media está entre 0,5 y 1,5 metros.

El buen aspecto de estas rocas y su inclinación hacia el vaso del embalse, son buen índice de su estanqueidad. Sin embargo, en las laderas del vaso, seguramente los sectores mas descomprimidos deberán contemplarse en una próxima etapa la realización de perforaciones y ensayos de absorción específico (Ensayo Lugeón).

Litológico

Aunque pobremente cementadas, estas rocas son compactas y las bajas porosidades y permeabilidades acusadas por los ensayos, indican el carácter estanco del macizo.

Al respecto, la vertiente que alumbra en el cañadón de derivación y que baja entre someros sedimentos arenosos, donde con pequeños destapes se observa agua o mas comúnmente signos de humedad y que finalmente sale a la superficie a la salida del cuenco por elevación del sustrato rocoso, constituye un importante elemento probatorio de la estanqueidad litológico estructural del fondo del vaso.

Debe también mencionarse la aparición de una capa de yeso (1,5 cm. de espesor) sobrepuesta a pelitas rojas, sobre la cota 1050 en la margen izquierda del Cañadón Sur.

No obstante el carácter puntual de la aparición de esta roca soluble, seria recomendable para la etapa subsiguiente una profundización de su conocimiento en cuanto a la frecuencia y potencia de sus bancos.

7.2.3. Geología. Variante II

La Variante II contempla un vaso cuya capacidad máxima, a cota de coronamiento (1050) es de 3,9 Hm³ y un espejo de aguas de 35 Ha, PLANO N° PA - IF- 05.

El mismo se forma por el corrimiento del cierre unos 300 metros aguas abajo.

La pendiente general del Cañadón Principal es aquí del orden del 3% y los aluviones ocupan parte del fondo del mismo.

Las rocas del vaso son las mismas de la Variante I, con la incorporación de términos de la Zona III cada vez más gruesos, siendo ya comunes la presencia de conglomerados finos a medianos con potencias de 0,3 a 0,5 metros. (PERFILES N-Ñ y O-P).

7.2.3.1. Estanqueidad del Vaso

Para esta alternativa valen los mismos conceptos apuntados para el Vaso Variante I, para gran parte del mismo.

Pero es importante fijar la atención en la margen izquierda del futuro embalse, en su sector limitado por el segmento G-D del Cierre Principal, donde justamente el PERFIL G-D ha revelado marcada meteorización y diaclasamiento subhorizontal, con relleno de calcáreo pulverulento, sugiere la presencia de una zona descomprimida.

Este carácter, evidentemente superficial, el que siempre se atenúa hacia abajo, no obstante debería ser reconocido en su verdadera magnitud en próxima etapa, de seleccionarse esta traza, mediante ensayos de absorción Lugeon.

7.3. AREA DE CIERRE

Este estudio plantea dos Alternativas de cierre, la Variante I y la Variante II.

7.3.1. Geología. Variante I

Esta variante es la mas corta. El PERFIL C-D pasa por el eje de la presa, cuya longitud mínima es de 200 metros y su altura máxima es de 26 metros. Su rumbo es N 60° muy cercano al de la estructura sedimentaria, (N40°)

Esta alternativa es posible gracias a la presencia de una importante "costilla" morfológico-estructural, que se interpone transversalmente al cuenco, alcanzando en su porción media su altura máxima (1058 m, contiguo al punto D)
FOTO N° 14.

Las rocas presentes pertenecen a la Zona III, son las sedimentitas mas resistentes del área y su presencia ha provocado que los cursos de los cañadones mayores interrumpieran su rumbo WNW produciéndose un franco quiebre hacia el NE, formándose un curso único y estrecho por unos 300 metros, hasta que logra salvar el obstáculo, retomando nuevamente el rumbo del Cañadón Sur.

La posición de los estratos es aquí en promedio $N40^{\circ} / 40^{\circ} SE$.

El perfil C-D indica la ausencia de estructuras de fracturación u elementos de otra índole que afecten transversal u oblicuamente a esta variante.

El PERFIL H-I, transversal a la obra y prácticamente perpendicular a la estructura sedimentaria, representa una columna francamente clástica, con dominio de areniscas y areniscas conglomerádicas y ausencia de los extremos, pelíticos y conglomerádicos.

Los taludes de apoyo de margen derecha e izquierda de la presa tienen inclinaciones máximas de 24° y 35° respectivamente, mayores a las de los estratos que lo hacen hacia arriba de la presa, lo que constituye buenos elementos de su estabilidad.

7.3.2. Geología. Variante II

Esta variante es mucho más larga. Es un solo cuerpo de presa y su eje se conforma mediante dos tramos bien definidos. Un tramo frontal, de rumbo $N75^{\circ}$, su longitud mínima es de 170 metros y su altura máxima de 36 metros. El PERFIL F-G, describe sus características. FOTO N° 15.

El segundo tramo descrito en el PERFIL G-D, tiene características de cierre lateral, su rumbo es N-S y su longitud mínima es de 360 metros y su altura máxima es de 13 metros, a unos 20 metros al sur del punto G.

La longitud total de la Variante II es por tanto de 530 metros.

Ambas secciones muestran el cambio progresivo de la secuencia sedimentaria, respecto de la Variante I.

Esto lo resalta especialmente las Secciones G-D y N-N̄, transversales al rumbo de estratos, donde la fracción clástica es ahora predominantemente areniscas conglomerádicas que gradan a conglomerados en su base, aumentando la

rugosidad y carácter basto de los planos de estratificación con espesores entre los 0,5 y 2,0 metros.

Pero es notoria e interesante la presencia de niveles de areniscas finas y bancos pelíticos marrones y rojos intercalados, cuya frecuencia aumenta hacia la Variante II.

Algunos niveles poco compactos a lo largo del PERFIL G-D y la presencia de calcáreo pulverulento entre capas y diaclasas subsidiarias indicarían cierta descompresión del macizo.

Por esto, de seleccionarse esta Variante, estudios posteriores deberán contemplar perforaciones con recuperación de testigos y ensayos de absorción, para evaluar más convenientemente su estado.

En ese sentido, los ensayos resistentes (compresión uniaxial), de muestras del Sitio 3, son en su conjunto los mas bajos, resultando del promedio de tres muestras una σ_c : 16,6 kg/cm² .

Los taludes de apoyo de margen derecha e izquierda de la presa frontal, tramo F-G, tienen inclinaciones máximas de 36° y 31° respectivamente, menores a las de los estratos que inclinan 40° hacia arriba de la presa.

El tramo de presa lateral PERFIL G-D, mas baja, se emplaza sobre un talud de apenas 16° de pendiente, los estratos en tanto inclinan favorablemente 38° hacia el embalse.

7.3.3. Cierre Secundario

Cualquiera sea la Variante seleccionada, la presencia de un escape topográfico, ya mencionado en 7.2. AREA DE VASO, obliga a la construcción de un Cierre Secundario, para lograr su total estanqueidad.

Su longitud minima es de 100 metros, su máxima altura de 16 metros y el PERFIL D-E, longitudinal sobre el eje de presa, de rumbo N37° y el L-M transversal a la misma y a la estructura sedimentaria, describen una secuencia clástica propia de la Zona III, con estratificación marcada, sin complicaciones estructurales y casi ausencia de pelitas.

La sección L-M muestra en su sector norte algunos niveles areniscos descomprimidos con carbonato de calcio pulverulento entre diaclasas subhorizontales.

Inicia aquí el Cañadón Secundario, labrado en rocas de la Zona III, el que tras un zigzagante recorrido de unos 500 metros, desemboca en el Cañadón Principal. Esta circunstancia es muy propicia para plantear en este sitio las obras de alivio del sistema (vertedero), cualquiera sea la variante seleccionada.

Los taludes de apoyo de margen derecha e izquierda de la presa tienen inclinaciones máximas de 22° y 14° respectivamente, menores a las de los estratos que lo hacen hacia arriba de la presa.

7.4. AREA DE CONDUCCION AL SISTEMA DE DISTRIBUCION

Cualquiera sea la variante seleccionada, las aguas embalsadas deberán conducirse por el Cañadón Principal hasta su salida al valle, dadas las condiciones de impermeabilidad que denota su lecho rocoso, pobremente cubierto por aluviones

Ya desde la zona de cierres se resuelve en un largo y angosto corredor, con un ancho promedio de 10 metros y marcado carácter meandriforme, labrado en rocas tenaces de la Zona III.

Aquí predominan areniscas conglomerádicas y conglomerados medianos y gruesos, pero también existen los bancos de areniscas con niveles pelíticos con espesores que pueden superar 0,50 metros.

La conducción libre de las aguas, persistiría hasta la salida del cuenco, por unos 500 metros donde los sedimentos de pedemonte, cubren a las sedimentitas del Grupo Santa María. De allí, valle abajo, las aguas deberán conducirse mediante canales revestidos por unos 4.000 metros, hasta alcanzar el canal matriz que nace en Punta de Balasto y cruza el valle de Santa María en sentido sur a norte.
FOTO N° 19.

INVESTIGACIÓN DE MATERIALES DE FUNDACIÓN

8. INVESTIGACIÓN DE MATERIALES DE FUNDACIÓN.

8.1. Introducción

Para la obtención del material necesario para la determinación de parámetros resistentes y otros valores índices de los mismos, se implementó una campaña de campo, que se extendió por tres semanas entre el 27 de septiembre al 15 de octubre de 2004.

Requirió el concurso de 4 ayudantes de campo y un vehículo para el traslado de las muestras y personal.

La metodología de muestreo del material rocoso indisturbado, ya que se trató por todos los medios de preservar la integridad de su textura y estructura, consistió en la elección de los sitios y su limpieza superficial; luego se realizaba el corte a cincel y puntas de un pan de aproximadamente 0,60 m por 0,80m hasta alcanzar una profundidad donde se observaba adecuada calidad del mismo.

Hubo veces que debió profundizarse el corte hasta 1,15m para lograr el cometido. FOTO N° 20.

Se obtuvieron panes de 4 lugares elegidos con el criterio de incluir todas las posibles variantes de cierre, denominándose a éstos: Sitio 1, 2, 3 y 4 y sus ubicaciones figuran en el PLANO N° PA - IF - 03.

Las muestras se cortaron en panes de arista 0,20 m a 0,25 m en promedio. Embolsadas, encintadas, nombradas y dispuestas en cajones se trasladaron a mano por unos 2,5 Km. hasta el vehículo.

Todo el material, unos 550kg. se acondicionó en 13 cajones, los que se trasladaron en un único viaje al laboratorio de la ciudad de Córdoba.

Se incluyeron aquí las muestras para investigación de materiales para construcción, cuya investigación y muestreo insumió una semana de trabajo de campo.

8.2. Calidad y permeabilidad de la roca de fundación.

El macizo de fundación de la presa principal (Variantes I y II), presa secundaria y otras obras conexas del Proyecto Ampajango, dentro del cuenco lateral de margen izquierda, está constituido por areniscas, areniscas conglomerádicas, conglomerados y delgadas intercalaciones pelíticas, de carácter poco plástico a no plástico, de la ZONA III (denominación local) de la Fm. Pozo del Molle del Grupo Santa María, las que presentan disposición monoclinal, inclinando entre 37° a 46° hacia aguas arriba del embalse.

8.2.1. Litología.

Las rocas de la ZONA III, están constituidas, aproximadamente, por un 50% de areniscas conglomerádicas, 30% de conglomerados y 20% de areniscas finas y medianas.

Estas últimas son mas frecuentes en los probables sitios de emplazamientos de las obras por lo que son las que fueron mejor estudiadas y analizadas por métodos de campo y laboratorio.

Así se confirmaron sus características granulométricas, correspondiendo a areniscas finas y medianas, bien graduadas y prácticamente limpias con menos del 10% de cemento químico carbonático, saltuariamente distribuido en su matriz rocosa. ANEXO VI, Análisis petrográfico.

Además, la descripción microscópica determinó que petrológicamente corresponden a areniscas micáceas, específicamente areniscas cuarzo biotíticas muscovíticas, alcanzando estas últimas un 23,3% de la composición modal.

Todas estas características, sumadas a la escasa diagénesis de estas jóvenes sedimentitas, son elementos determinantes de los bajos valores de sus parámetros físico - mecánicos.

La tabla siguiente expresa los valores medios de los parámetros físico - mecánicos de estos materiales, preliminares, sobre la base de 11 ensayos y determinaciones.

PARAMETROS FISICO - MECANICOS (Valores medios)

Peso Unitario		P.Espec. Absoluto (gr/cm ³)	Relación de vacíos (e)	Porosidad (n)	Absorción (%)	Tensión de rotura (kg/cm ²)
Húmedo (gr/cm ³)	Seco (gr/cm ³)					
2,47	2,34	2,65	0,13	0,11	5,93	23,29

8.2.2. Alteración.

Dado lo riguroso del clima, la roca expuesta presenta (a nivel superficial) importante alteración mecánica, producto del intemperismo.

Sin embargo, de la observación y análisis de muestras frescas obtenidas a unos decímetros de profundidad se advierte baja meteorización de las mismas.

Efectivamente, el estudio petrográfico, determina que los cambios de coloración y tonalidades, se deben mas a la mayor o menor participación de minerales primarios, en especial cuarzo y biotita que a la presencia de minerales secundarios, de alteración.

Estas rocas, poco competentes, no presentan casi fisuración secundaria, responsable principal de la alteración integral de los macizos rocosos.

Estos elementos caracterizan a estas rocas como "levemente meteorizada".

8.2.3. Fracturación del macizo.

Como se dijo, en este proyecto, la discontinuidad más relevante y conspicua es el estrato, cuerpo groseramente plano, cuyo rumbo es N 40° E e inclinación 36° a 47° SE, claramente dispuestos hacia aguas arriba del embalse, lo que constituye una situación muy favorable.

Su longitud, superior a varios cientos de metros, y espesor promedio entre 1,00 a 1,50 metros. Son menos frecuentes bancos de 0,10 a 0,50 metros.

También se indicó la relativamente baja fracturación de este joven macizo, con escasas diaclasas, plano-rugosas, cerradas y de corta extensión, de mediano a alto ángulo y baja frecuencia, del orden de los 2,00 a 2,50 metros de separación.

Por esto, se debe resaltar que el comportamiento plástico de este tipo de macizo rocoso, hace que el fracturamiento secundario no sea relevante como planos de

debilidad, por que la roca intacta es débil, de baja resistencia (2,33 MPa, valor medio de 11 ensayos a la compresión uniaxial en condiciones de saturación).

Este muy bajo valor del mencionado parámetro, hace que sean inaplicables en este caso, (mas adelante se ampliará este punto), las clasificaciones de macizos rocosos, que han sido desarrolladas para rocas mas competentes.

8.2.4. Permeabilidad del Macizo.

La falta de perforaciones, no permitió obtener parámetros generales de su permeabilidad por fisuración secundaria, (exclusivamente por diaclasamiento), la que se considera baja, dada el comportamiento plástico integral del macizo.

Su evaluación en etapas siguientes, puede concretarse mediante ensayos de infiltración, como ser el Ensayo Lugeon.

Se realizaron, entonces ensayos de permeabilidad y absorción de laboratorio, sobre muestras indisturbadas, que en este caso otorgan datos sobre el macizo.

Los mismos determinaron para estos materiales los siguientes valores medios:

Porosidad n: 0,12; Absorción 5,81 % y permeabilidad: $2,1 \cdot 10^{-6}$ cm/seg.

Estos valores se relacionan íntimamente con sus características litológicas y texturales relatados en el punto Litología, no son problema en cuanto a la estanqueidad del macizo.

8.2.5. Agua Subterránea.

Salvo el fondo del Cañadón Principal, donde circula agua entre la roca y los sedimentos arenosos que la cubren, las rocas del cuenco se hallan prácticamente secas.

Las determinaciones de humedad natural, indican valores inferiores al 3%, por lo que se define a estas rocas como ligeramente húmedas (sólo intersticial).

ANEXO VI, Ensayos Físico-químicos de aguas

8.3. Ensayos de Laboratorio.

Se obtuvieron muestras indisturbadas del espacio interdiacal, según metodología explicada en la Introducción de este capítulo, con la finalidad de tener una primera aproximación del conocimiento de la resistencia de las rocas de fundación del proyecto.

Se analizaron en laboratorio los siguientes parámetros y características físicas:

- Identificación petrográfica
- Identificación granulométrica. (SUCS)
- Resistencia a la compresión uniaxial (σ_c)
- Humedad natural (%)
- Peso específico absoluto. (gr/cm^3)
- Peso Unitario húmedo y seco (gr/cm^3)
- Porosidad. (n)
- Absorción. (%)
- Permeabilidad. k (cm/seg).

Los mismos se llevaron a cabo siguiendo Normas IRAM: ASTM e ISRM y forman parte del ANEXO VI: Ensayos de laboratorio.

Resistencia a la Compresión Uniaxial

Este parámetro, uno de los más importantes, se describe al final, ya que para entender su baja valoración, es necesario desarrollar antes las características y parámetros físicos del macizo.

Este macizo, poco fracturado y en apariencia compacto, ya evidenciaba una pobre resistencia de su matriz rocosa en los ensayos de campo, como consecuencia de su pobre cementación.

Efectivamente, en estas rocas, al golpe del martillo de geólogo, se producen pequeñas indentaciones y las más tenaces se fracturan con un golpe fuerte del mismo.

Así también, las pruebas con ácido clorhídrico (HCl), denotan la presencia de cemento químico (carbonato de calcio), aunque escaso y muy discontinuo.

Para la determinación de este parámetro, fueron ensayadas en condiciones de saturación once muestras indisturbadas, colectadas de los sectores de las probables variantes de obra, denominados Sitio 1, 2, 3 y 4 (S1; S2; S3 y S4).

Los valores obtenidos fueron bajos, entre:

σ_c min. (muestra S3 - C4): 12,51 kg/cm²

σ_c max. (muestra S2 - C5): 35,12 kg/cm²

Esto arroja un valor medio de: σ_c medio: 23,29 kg /cm² (2,33 Mpa)

8.4. Clasificación geomecánica del macizo

Con el avance de las investigaciones de campo y laboratorio, se fue plasmando la idea de que se estaba en presencia de un macizo rocoso que en general distaba de aquellos cuyas características salientes eran su competencia media a alta, parámetros resistentes y de deformación elevados y comportamiento frágil a los esfuerzos, constituyendo macizos fracturados.

Estos, en cambio, presentaban baja cohesión y parámetros resistentes muy bajos al igual que una baja facturación del macizo.

De acuerdo a esto, se observó que todo intento de estudiar y clasificar a estos materiales según los criterios utilizados usualmente para la clasificación de macizos rocosos (Clasificación Geomecánica de Bieniawski, 1974 – RMR; NGI, Barton y otros, 1974 – Índice Q, etc.) eran absolutamente inadecuados, dada la “baja calidad” de estos materiales.

En virtud de esa cualificación de los materiales se investigó en esa línea.

Al respecto, según R. Oliveira, (Weak rock materials, 1990),” existen muchos materiales que por sus características geológicas corresponden a la transición entre los suelos y las rocas duras. El campo de las rocas blandas aun no tiene limites definidos, compartiendo en algunos casos propiedades de suelos y en otros, de rocas duras.

Las designaciones mas comunes son rocas débiles o blandas. Otros autores usan el término “rocas de baja resistencia”.

La mayoría de las rocas débiles, caen dentro de la categoría de materiales problemáticos.

Se pregunta, ¿pero, que son materiales problemáticos? Por lo que a continuación trata de definir este concepto dentro de un criterio cuantitativo.

El camino más comúnmente seguido, en esta cuestión de resolver que es una roca débil, es a través de evaluar las propiedades reológicas de las rocas, es decir: su deformabilidad a largo plazo.

En la importante cuestión de definir el límite inferior entre suelos y rocas, Rocha (1977) estableció, sobre la base de ensayos con materiales límites, que la cohesión y la resistencia a la compresión uniaxial, son los dos parámetros "mas útiles" para la definición de este límite.

De acuerdo a sus resultados: los materiales con cohesión superior a 0,3 Mpa (3kg /cm²) y una resistencia a la compresión uniaxial superior a 2Mpa (20 kg /cm²) son considerados rocas.

Este valor es el límite usado para la BGD (Descripción Geotécnica Básica, 1981) publicada por la ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas) para la clasificación de rocas.

En esta clasificación, la resistencia a la compresión uniaxial de 20 Mpa (200kg /cm²) es considerada el límite superior para rocas de baja resistencia.

Este rango entre 2 y 20 Mpa tiene aun un límite intermedio, internacionalmente aceptado, de 6Mpa (60kg/cm²), que marca la separación entre Rocas de Muy Baja Resistencia y Rocas de Baja Resistencia.

Corresponden respectivamente a los Grupos S5 y S4 de la BGD.

Para el rango de 2 / 20 Mpa, los valores de su resistencia son muy sensitivos con el grado de saturación de estas rocas.

Siguiendo esta aceptada correlación para rocas cuyas propiedades resistentes están dentro de estos limites (2 / 20 Mpa), los correspondientes Módulos de Deformación se ubican entre 500 y 5000 Mpa.

En si este grupo de rocas son las responsables de la causa de problemas con las fundaciones de pesadas estructuras. En particular, pequeñas variaciones del Modulo de Deformación pueden ser muy importantes en el comportamiento de la estructura, por lo que se requiere mucha exactitud en la determinación de aquel. Para estas rocas, la valuación de las propiedades dependientes del tiempo, son muy importantes y pueden significar lentas deformaciones (creep) aun con bajos niveles de tensión.

En este sentido, difiere fuertemente con las rocas más resistentes en cuanto a la confianza que da la valoración de los parámetros de deformación instantáneos.

Tipos de Rocas Débiles.

Según M. E: Barton y otros, en el mencionado trabajo, (Weak rock materials, 1990), las Rocas Débiles pueden ser débiles por:

- a - Pobre unión (poor bonding) de los componentes.
- b - Meteorización de los componentes.
- c -Tectonización (fallas y fracturas)
- d - Presencia de cavidades (oquedades y cavernas)

La dos primeras son inherentes al material rocoso (matriz rocosa)

Las dos últimas tienen influencia fundamentalmente a escala del macizo rocoso.

Ejemplos del tipo a- son las rocas argilíticas y arenosas de origen sedimentario (arcillitas, limolitas, areniscas, calcarenitas), volcánico (tufitas, brechas) o metamórfico (esquistos argilíticos).

La unión (bonding) diagenética es lograda en muchos casos a través del cemento quien es el responsable de la cohesión de la roca. Aunque la cohesión permanente sólo se logra mediante el trabado (interlocking) de los minerales constituyentes y de las uniones iónicas.

Estas rocas son débiles (weak rocks) por que "la unión de sus elementos es de muy baja resistencia" en el presente estado de diagénesis.

En este tipo, se incluyen a las Areniscas y términos asociados del Proyecto Ampajango.

Sobre la base de lo expuesto (R. Oliveira y M. E. Barton y otros) se hace una primera clasificación de estos materiales, según los parámetros Cohesión y Resistencia a la Compresión Uniaxial.

1- Cohesión.

No fue valuada mediante ensayos mecánicos, pero el análisis petrográfico determinó una petrofábrica propia de rocas débiles (muy baja cohesión; ver litología) lo que consecuentemente influye directamente en el valor del segundo parámetro a comentar. Por otro lado, se considera que la cohesión puede ser un valor próximo al 10% de la resistencia a la compresión uniaxial.

2- Resistencia a la Compresión Uniaxial.

Siguiendo los conceptos de Oliveira y de Rocha (1977), la Resistencia a la compresión Uniaxial (siempre dando valores medios), es de $23,3 \text{ kg/cm}^2$ (2,33 Mpa), por lo que estas rocas en la clasificación de rocas débiles, cuyo rango es:

$$2\text{Mpa} < \text{RCU} < 6\text{Mpa}$$

caen en el sector Rocas de Muy Baja Resistencia, muy cercana al limite entre rocas y suelos según estos conceptos geológico -ingenieriles.

Y de acuerdo a lo dicho, tendrían Módulos de Deformación muy bajos del orden de 500 Mpa o apenas algo mayor.

Concluyendo estas ideas y como primera aproximación, se clasifica a las rocas del macizo rocoso del Proyecto Ampajango, como: **ROCAS DE MUY BAJA RESISTENCIA Y DE MUY BAJO MODULO DE DEFORMACION (Resistencia a la Compresión Uniaxial: 2,33 Mpa y MD del orden de los 500Mpa y Cohesión muy baja (del orden de los 0,2 Mpa)**

INVESTIGACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION

9. INVESTIGACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION.

Con la finalidad de proveer al proyecto de datos suficientes en cuanto a la localización, calidad y volumen aproximado de materiales para la construcción (a nivel de Prefactibilidad), se realizó una investigación de inventario de materiales en áreas cercanas al mismo.

Las mismas apuntaron a la ubicación de:

- 1 - Materiales Finos.
- 2 - Materiales Granulares. (Arenas y gravas)

Los distintos sitios investigados y sus áreas aproximadas, se observan en la FOTO N° 21.

9.1. Materiales Finos.

- Mediante el uso de fotografías aéreas e información antecedente, se delimitaron sectores cuya textura fotográfica denotara la presencia de materiales finos.
- Se ubicaron aquellos considerados mas adecuados.
- Luego de una visita ocular y algunos destapes, se seleccionaron tres (3) sitios a investigar.
- En los mismos se realizaron perfiles de suelo en cortes naturales y artificiales (los mas) y otros en base a perforaciones con pala vizcachera hasta un máximo de 2,00 metros, con el objetivo de conocer expeditivamente su desarrollo areal y volumétrico.
- En los sitios seleccionados, finalmente se realizó una toma de muestras de material disturbado, e indisturbado para los distintos ensayos de laboratorio.
- En laboratorio se llevaron a cabo las siguientes determinaciones y ensayos.
 - Identificación. Granulometría e Indices de plasticidad. (SUCS)
 - Humedad natural (%)
 - Peso Unitario húmedo (gr/cm^3)
 - Peso Unitario seco (gr/cm^3)

- Permeabilidad k (cm/seg)
- Ensayo Proctor Standard. Densidad óptima (gr/cm^3); humedad óptima (%)
- Ensayo Triaxial sobre probetas compactadas al 98% del ensayo proctor. (No consolidado, no drenado).
- Ensayo de Dispersividad. (Pin Hole)

Estos materiales se encuentran todos en el pedemonte que apoya y cubre las últimas estribaciones de las sedimentitas del Grupo Santa María, el que hacia cotas inferiores se interdigita con los sedimentos aluvionales del río Santa María. Morfológicamente constituye un abanico que en una franja de unos 4km. Promedio desciende unos 100 metros hasta la margen derecha del río Santa María.

En ella la zona de de sedimentos finos en general coinciden con sitios actualmente parcelados donde se practica la agricultura bajo riego.

La formación de este cono tiene como principal responsable de su formación la descarga de sedimentos de los numerosos cursos de agua que bajan desde el este hacia el valle de Santa María, no descartándose algún aporte eólico en su conformación.

Su origen a partir de la destrucción de las sedimentitas del Grupo Santa María es evidente en función de la ausencia de la fracción arcilla y presencia de micas en estos suelos.

Se describen a continuación las características de los suelos investigados. Sus ubicaciones se aprecian en la FOTO N° 21 y los resultados de laboratorio se encuentran en el ANEXO VI: Ensayos de laboratorio.

SITIO Finos 1:

Corresponde a un sector de la localidad de El Desmonte, comprende zonas cultivadas y aledañas.

Sus características: granulométricamente corresponden a arenas muy finas, de baja humedad natural, buena densidad de compactación y parámetros de corte, con ausencia de fracción arcilla. El ensayo Pin Hole indica alta dispersión mecánica de los mismos.

Se investigó expeditivamente un sector de una superficie de unos 24 Has y un espesor de manto promedio de 0,60 metros, con un volumen estimado de 144.000 m³.

SITIO Finos 2:

Corresponde a un sector al este de la localidad de Ampajango, en la porción superior del cono, en sectores poco o nada antropizados.

En este Sitio, existe una rústica cantera, donde el municipio y particulares extraen materiales finos para la construcción, especialmente para la fabricación de adobes. FOTOS N° 22 N° 23.

Sus características: granulométricamente corresponden a arenas muy finas hasta limos de baja compresibilidad (ML), no plásticos. Sus taludes de corte son verticales.

Tienen baja humedad natural, la mayor densidad de compactación registrada en este muestreo y buenos parámetros de resistencia al corte. El ensayo Pin Hole indica alta dispersión mecánica de los mismos.

Se investigó expeditivamente un sector de una superficie de unos 18 Has y un espesor de manto promedio de 1,50 metros, con un volumen estimado de 270.000 m³.

SITIO Finos 3:

Corresponde a un sector situado unos 500 metros al norte del cuenco lateral en un sector de labranza y aledaneos.

Sus características: granulométricamente corresponden a arenas finas y muy finas hasta limos de baja compresibilidad (ML), no plásticos. Sus taludes de corte artificiales son verticales.

Tienen la más baja humedad natural, entre los suelos investigados, buena densidad de compactación y los más altos parámetros de resistencia al corte. El ensayo Pin Hole indica alta dispersión mecánica de los mismos.

Se investigó expeditivamente un pequeño sector de una superficie de unas 11 Has y un espesor de manto promedio de 1,50 metros, dando un volumen mínimo de 160.000 m³.

A modo de conclusión sobre este punto:

- Los suelos de los tres sitios son muy similares en cuanto a sus características físico mecánicas y todos son altamente dispersivos.
- La investigación fue expeditiva, pero por las características fisiográficas y origen geológico de este abanico es altamente probable que nuevas investigaciones aumenten considerablemente el volumen de materiales finos disponibles y también que sus propiedades características no difieran sustancialmente de las ya conocidas.

9.2. Materiales Granulares. (Arenas y Gravas)

Se ubicaron posibles cursos de agua mediante fotografía aérea a escala 1:50.000 y luego se recorrió el área, siempre aledaña al proyecto y paralelo a la Ruta Nacional 40, en una extensión mayor a los 10km al norte y al sur del proyecto, respectivamente.

Finalmente se seleccionó y realizó una toma de muestras de arenas y gravas en el cauce del río El Vallecito, el que presenta dos brazos bien definidos a la altura de su intersección con Ruta Nacional 40. FOTOS N° 24 y 25

En el brazo norte se tomaron las muestras Gravas 1 (M1) y Arenas 1 (M1)

En el brazo sur se tomaron las muestras Gravas 2 (M2) y Arenas 2 (M2)

Gravas 1 y 2:

Representan depósitos de materiales bien graduados, con ausencia de finos.

Las curvas caracterizan dos rangos bien definidos, la muestra Gravas 1 corresponde a gravas gruesas, con apenas un 4,5 % de arenas. En cambio la otra corresponde a gravas medianas con un 19,8% de arenas.

Litológicamente corresponden a rodados de basamento (gneisses, migmatitas, granitos), sin signos de alteración, por lo que los hace muy apto para la construcción.

Arenas 1 y 2:

Representan depósitos de arenas cuyas curvas granulométricas caracterizan dos rangos bien definidos.

La muestra Arenas 1 corresponde a arenas finas algo sucias (SM-SP). En cambio la otra corresponde a arenas medianas a gruesas, limpias.

Se observó buena continuidad de los depósitos en “franjas” paralelas a la dirección del curso del río, en un ancho de unos 200 metros por una distancia de unos 1000 metros.

El espesor investigado con pozos a pala es en promedio de 1,5 metros. Esto permite realizar una estimación de unos 240.000 m³ de arenas y gravas, en conjunto, valor que podría incrementarse con nuevas investigaciones mediante métodos que permitan aumentar la profundidad de muestreo. Anexo VI: Identificación e arenas y gravas.

Materiales granulares de tamaños mas grandes (canto rodado y mayores), fueron observados en el cauce inferior del río Ampajango y cauces menores aledaños, producto de avenidas muy importantes de estos cursos de agua hace unas tres décadas y que si bien no se realizó ningún recuento, los depósitos observados indican volúmenes interesantes de los mismos.

CALIDAD DE LAS AGUAS DEL RIO AMPAJANGO

10. CALIDAD DE LAS AGUAS DEL RIO AMPAJANGO

10.1. Potabilidad.

Con la finalidad de valorar la calidad de las aguas en cuanto a su aptitud para uso humano (potabilidad), se tomó una muestra de agua del cauce del río Ampajango, en el lugar de la actual captación para el sistema de riego y uso humano. FOTO N° 26.

El análisis fisicoquímico, cuyas planillas se encuentran en el ANEXO VI Análisis de aguas, ha corroborado la buena calidad de las mismas para el consumo humano.

10.2. Agresividad al hormigón.

Con la finalidad de valorar la calidad de las aguas en cuanto a la agresividad al hormigón, se tomó una muestra de agua del cauce del río Ampajango, en el lugar de la actual captación para el sistema de riego y uso humano.

El análisis fisicoquímico, cuyas planillas se encuentran en el ANEXO VI Análisis de aguas, ha determinado que las mismas son aptas para el amasado y o curado del hormigón.

TOPOGRAFÍA

11. TOPOGRAFÍA

Los trabajos se llevaron a cabo en el transcurso de cuatro campañas, entre Agosto y Noviembre de 2004.

La comisión topográfica, estuvo integrada por el Ing. Agrimensor Rolando Ferré y el Técnico Enrique Galván, de la Subsecretaría de Planificación de Recursos Hídricos, de la Provincia de Catamarca.

En campaña, tuvo el apoyo de tres ayudantes de campo, de la citada Subsecretaría.

Las primeras actividades comenzaron con el análisis de los antecedentes recopilados y un reconocimiento del sitio, para dar paso a las tareas de levantamiento, las que se llevaron a cabo en dos campañas.

La primer campaña, de corta duración, dos días, inició inmediatamente después de la puesta en conocimiento del terreno.

Se utilizó, para todo el trabajo, un sistema de coordenadas locales (x,y,z), tomándose como punto origen la estación E1, a la que se le adjudicó cota 1.000,00 metros.

Se utilizó en esta oportunidad un Teodolito Digital Pentax ETH – 20F, relevándose un área de unos 50.000 m², aproximadamente 500 metros lineales por 100 metros de ancho sobre el cauce del río Ampajango y sus márgenes desde el sitio correspondiente al portezuelo del cuenco lateral hacia aguas arriba.

Se continuó relevando la porción distal del cuenco lateral de margen izquierda, levantándose en total, para esta comisión, unos 150 puntos y 6 estaciones. Debido a lo tortuoso y abrupto del terreno se advirtió la necesidad de replantear la metodología e instrumental de trabajo.

Por lo expuesto, la segunda campaña, que se extendió por 10 días, se encaró utilizando para el relevamiento una Estación Total Topcon GTS 313, tres bastones con prismas y equipos de comunicación para el personal.

Se procedió a vincular el trabajo anterior con el presente, el que se apoyó en las estaciones de aquel, unificando las mediciones en un solo sistema local.

Mediante el método de poligonal abierta, se levantaron 17 nuevas estaciones y por el método polar, se relevó una nube de unos 1200 puntos, cubriéndose un área aproximada de 100 Has, dentro de la depresión lateral.

La tercera campaña se realizó en septiembre, se extendió por 16 días, se encaró utilizando para el relevamiento una Estación Total Topcon GTS 313, tres bastones con prismas y equipos de comunicación para el personal.

Mediante el método de poligonal abierta, se levantaron 26 estaciones y por el método polar, se relevó una nube de unos 2300 puntos, cubriéndose un área aproximada de 130 Has, dentro de la depresión lateral y márgenes del río Ampajango.

En la cuarta campaña, en Noviembre de 2004, se finalizó el levantamiento del cuenco lateral y el resto de trabajos conexos.

Las tareas de gabinete se llevaron a cabo utilizando el software de bajada de datos Tfrmap, el procesamiento de datos y trazado de curvas de nivel se efectuó mediante el software Idrisys y para la realización del plano topográfico a Escala 1:2500 y equidistancia de 2 metros, se utilizó el software Autocad. PLANO N° PA -IF- 11.

Se presenta también los PLANOS PA -IF- 04 y PA- IF- 05, con la planimetría de los Espejos de Agua, para la Variante de Cierre I y II respectivamente. Se complementan con el dibujo de gráficas que muestran la relación Altura / Superficie y Altura / Volumen para cada alternativa considerada.

Se ubicó el Mojón IGM 3C – II – 512, punto trigonométrico de segundo orden, a partir del cual, cuando se considere conveniente, se podrá dar al proyecto cotas y coordenadas absolutas. Foto N° 21.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Las areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados, pobremente cementados, constituyen en conjunto, un macizo rocoso de comportamiento plástico, muy poco fracturado, lo que garantiza la estanqueidad del mismo. Aquí, la resistencia de la matriz rocosa, muy baja por cierto cobra el mayor protagonismo.

Dos variantes de cierre se han estudiado, ambas incluyen un cierre secundario lateral, donde puede contemplarse obras de evacuación de crecidas.

La ausencia de estructuras tectónicas importantes y la inclinación favorable de los estratos, descarta, en principio la posibilidad de deslizamientos inducidos.

La fundación de la presa, areniscas y términos asociados corresponden a un Macizo Rocosos de Muy Baja Resistencia y Muy Bajo Módulo de Deformación.

Esto impone para el proyecto, el emplazamiento de presas de materiales sueltos.

Sólo son aconsejables obras de hormigón menores y superficiales en las zonas de captación y vertedero.

En el área se han ubicado materiales de construcción, finos y granulares aptos para la presa de materiales sueltos y para hormigones.

RECOMENDACIONES

En la etapa de Factibilidad Técnica, se recomienda la implementación de perforaciones de estudio en la variante seleccionada, con el objeto de:

- 1- mejorar el conocimiento litoestructural del macizo.
- 2- Mejorar el conocimiento de la permeabilidad integral del macizo (ensayos de absorción tipo Lugeon)
- 3- Ensayos de laboratorio e "in situ", si así lo requiriese la magnitud de las estructuras, para mejorar el conocimiento de la deformabilidad del macizo y su resistencia.
- 4- También se recomienda la profundización del conocimiento de los materiales de construcción, ya que lo hecho hasta ahora tiene la limitación de la etapa de inventario, desarrollada en la actualidad.

ANEXOS

ANEXO I

LÁMINAS DE TEXTOS

ANEXO II

PLANILAS DE DATOS

ANEXO III
FOTOGRAFÍAS

ANEXO IV

FICHAS DE LOS ANTECEDENTES

ANEXO V

PLANOS

ANEXO VI

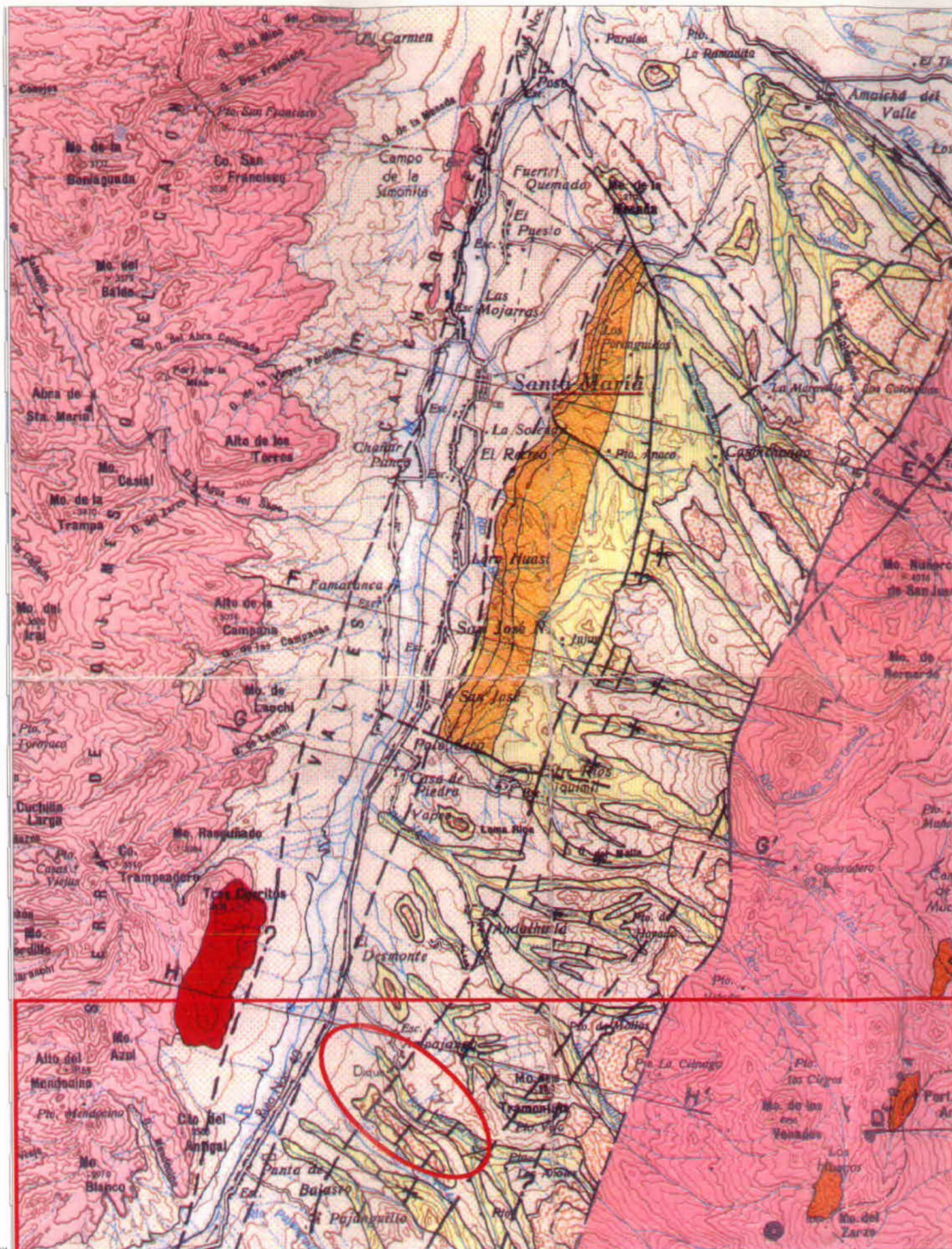
ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXOS

ANEXO I

LÁMINAS DE TEXTOS

HOJA SANTA MARIA 11e (Fracción)



27° 00'
66° 15'

REFERENCIAS

	Formación LAS MOJARRAS (Depósitos arenosos, loessicos, etc., poco disectados)	CUARTARIO
	Formación CASPICHANGO (Depósitos de acarreo fanglomerádicos, 3 ^{er} nivel)	
	Formación LAS SALINAS (Depósitos de acarreo fanglomerádicos, 2 ^o nivel)	
	Formación LA MESADA (Depósitos de acarreo fanglomerádicos, 1 ^{er} nivel)	
	Formación EL ZARZO (Brechas Volcánicas)	
	Formación ZANJA DEL MOLLE (Conglomerados, etc.)	CENOZOICO
	Formación LOS CORRALES (Brechas, etc.)	
	Formación YASYAMAYO (Limos, etc., con bivalvos)	
	Formación ANDALHUALA (Areniscas, cineritas, etc., con mamíferos fósiles)	
	Formación LAS ARCAS (Areniscas, conglomerados finos, etc.)	
	Formación LORO HUASI (Areniscas, limos, etc., c/restos vegetales)	
	Formación SAN JOSE (Arcillitas, etc., con bivalvos y restos vegetales)	
	Formación SALADILLO (Areniscas, limos, etc.)	
	Formación LAS CARAS (Areniscas, etc.)	
	Formación YACOMISQUI (Límulitas, arcillitas, areniscas, conglomerados)	
	Rocas ígneas, granitos, etc.	CRETACICO
	Calizas	
	Rocas metamórficas: Filitas cuarzosas, filitas bandeadas, micacitas granatíferas, migmatitas, etc.	PRECAMBRIICO MESOZOICO
	Contacto	
	Falla observada con indicación del labio bajo	
	Fallas: supuesta (A), cubierta (B)	
	Rumbo e inclinación de los estratos	
	Rumbo e inclinación de la esquistosidad y/o foliación	
	Eje sinclinal	
	Perfiles	

REFERENCIAS

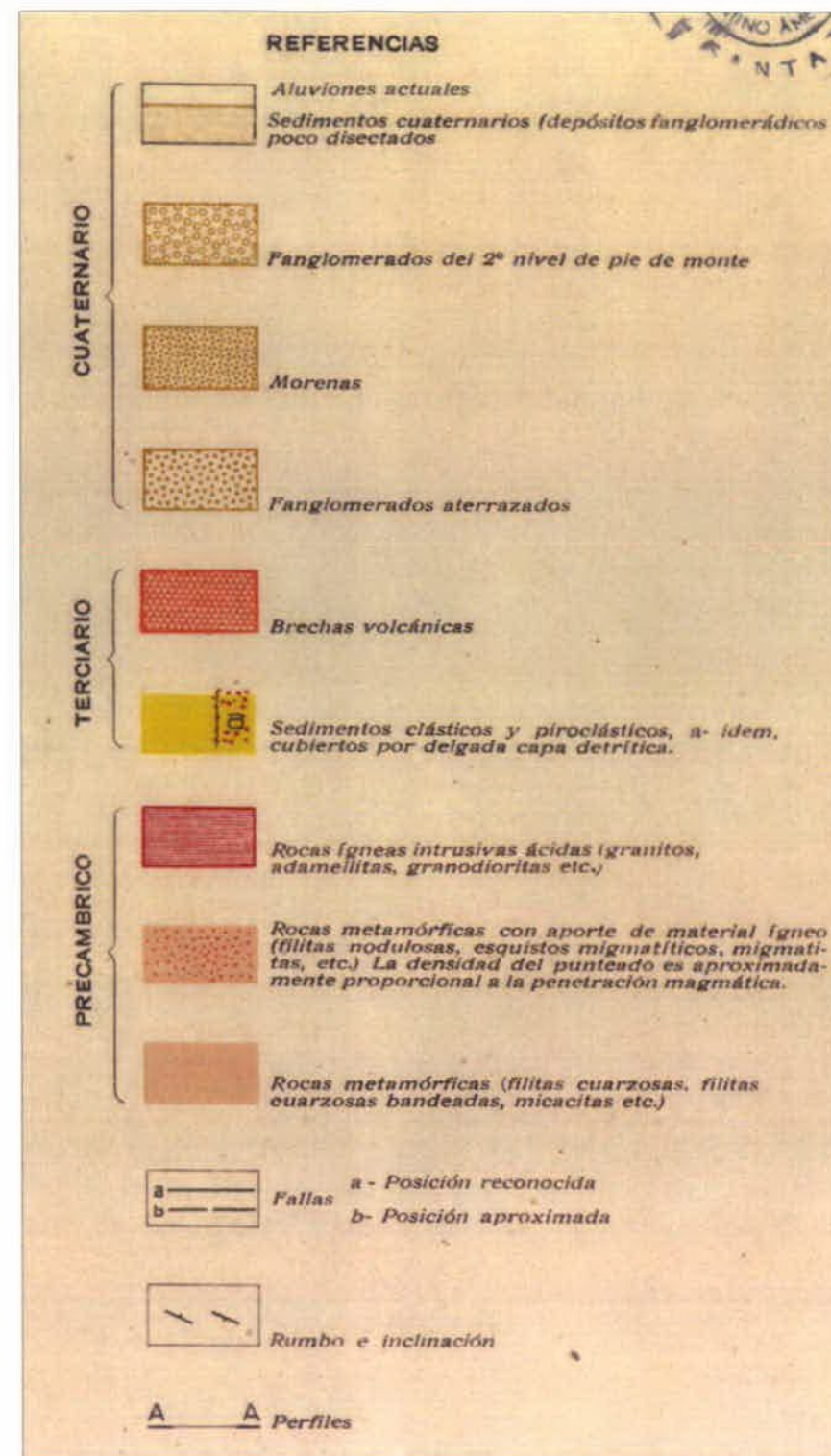
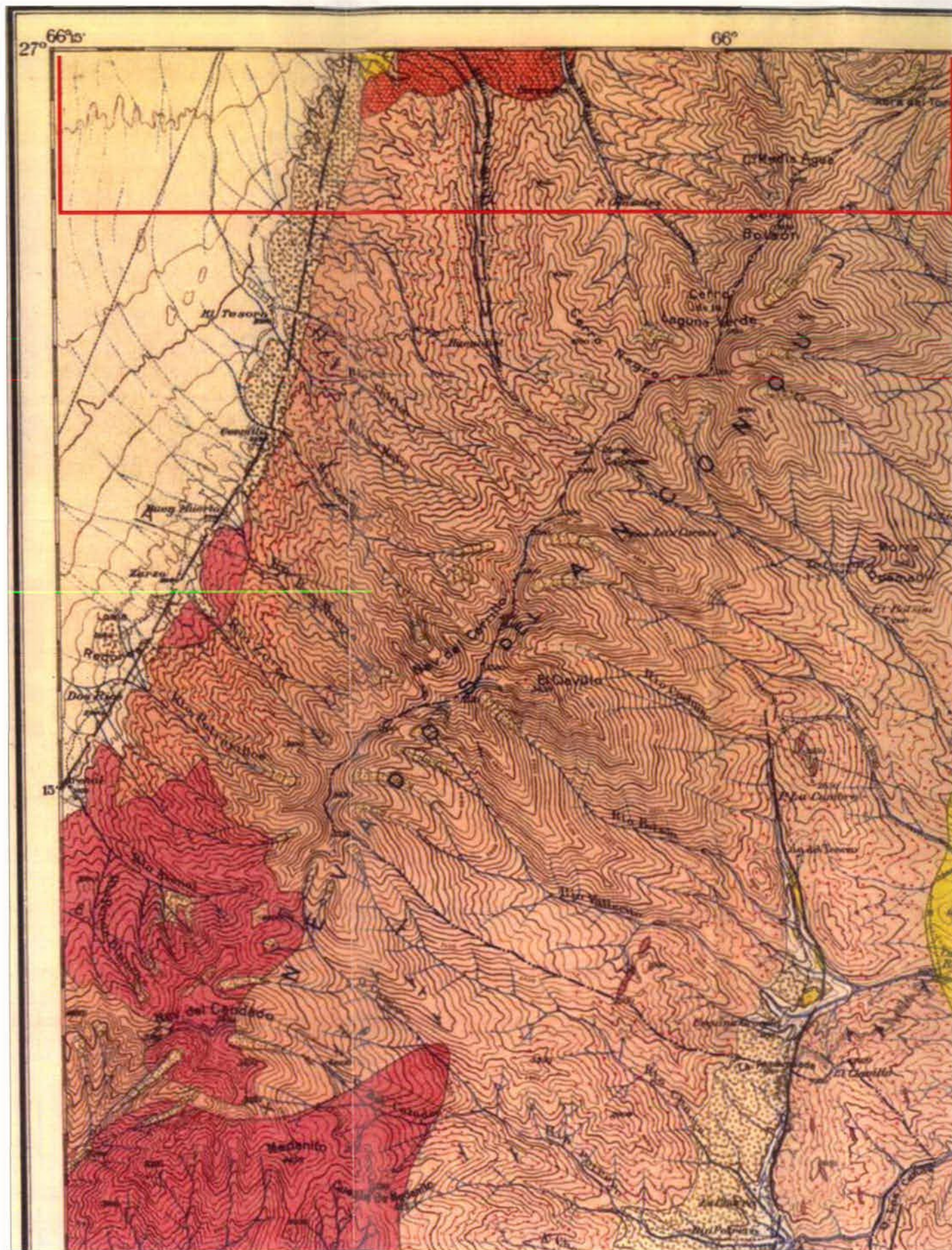
- Area de interés del proyecto
- Area de proyecto

ESCALA ORIGINAL

Escala 1:200 000



HOJA ACONQUIJA 12e (Fracción)

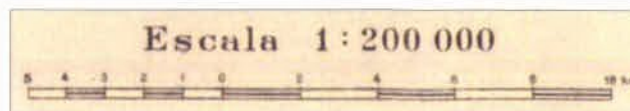


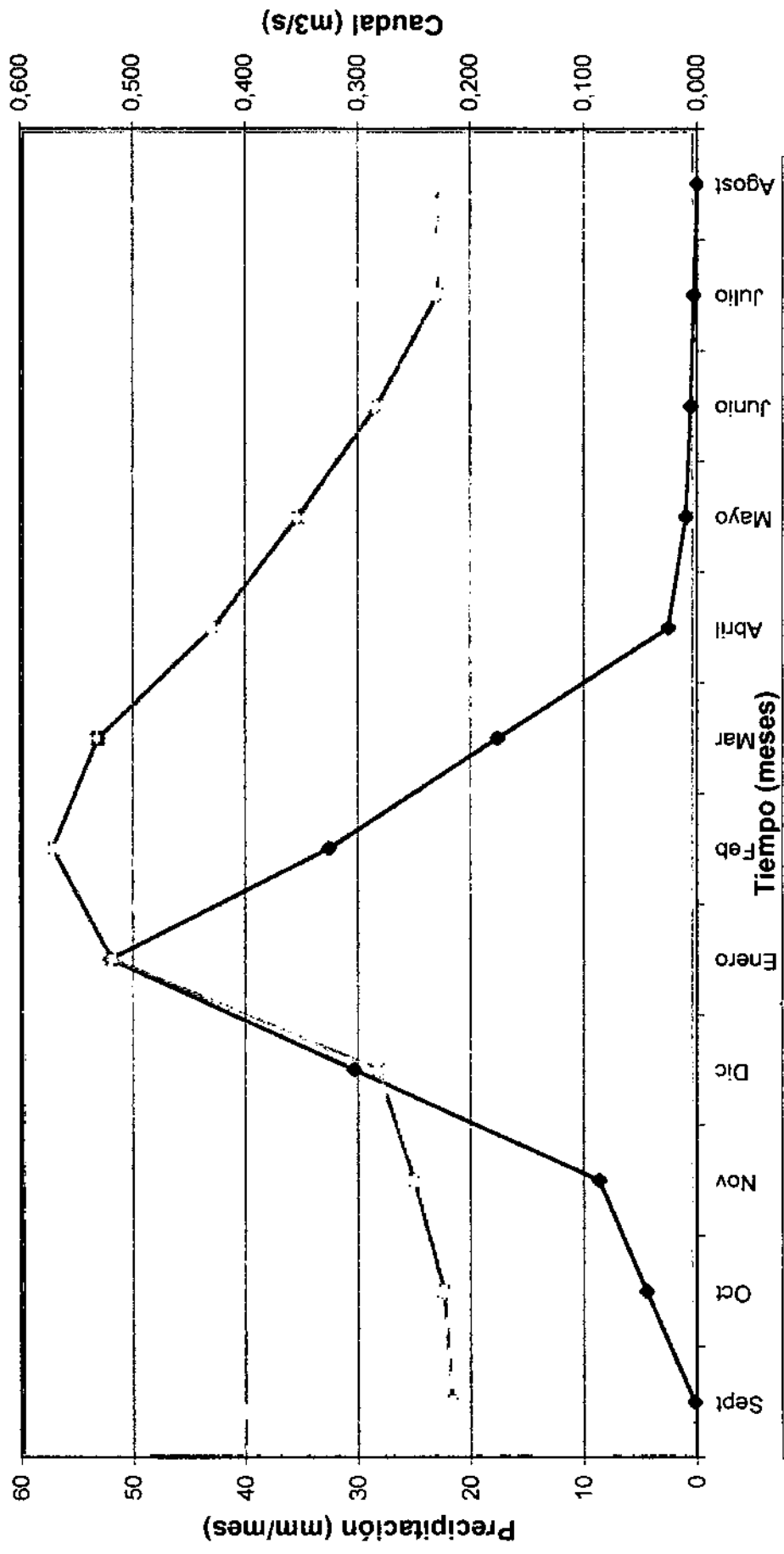
REFERENCIAS

Area de interés del proyecto

ESCALA ORIGINAL

Escala 1 : 200 000





◆ Curva A. Precipitación media Mensual (periodos 1979-80/1991-92 y 1993-94/2003-04)
 ■ Curva B. Caudal medio Mensual (periodos 1948-49/1951-52 y 1954-55/1960-61)
 ▲ Curva C. Caudal Mensual 2002-03 (incompleto)

ANEXO II

PLANILAS DE DATOS

Subsecretaría de Planificación de Recursos Hídricos - Dirección de Recursos Hídricos – Prov. de Catamarca
 Estación Pie de Médano. Dto. Santa María. N° 128

PLANILLA DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS – Período 1979-80/1991-92 y 1993-94/2003-04-(24 años) – Pluviosidad Media Mensual (mm)

PERIODO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
1979-80	0,00	0,00	0,00	0,00	5,40	32,60	22,80	11,50	0,00	0,00	0,00	0,00	72,30
1980-81	0,00	0,00	17,10	27,80	37,90	68,20	2,90	12,60	0,00	0,00	0,00	0,00	166,50
1981-82	0,00	12,40	20,70	1,60	57,80	20,60	48,90	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	163,20
1982-83	0,00	0,00	0,00	37,70	52,80	35,10	0,00	0,00	2,40	0,00	0,00	0,00	126,00
1983-84	0,00	12,10	28,80	21,10	82,20	55,70	77,60	0,00	0,00	0,00	3,20	0,00	280,70
1984-85	0,00	3,70	10,90	18,70	51,90	64,20	13,80	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	163,70
1985-86	0,00	0,00	49,90	92,10	73,60	50,80	3,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	270,20
1986-87	0,30	21,10	9,00	163,60	112,20	12,30	12,70	6,50	0,00	0,00	0,40	0,00	338,10
1987-88	0,00	1,20	3,10	19,50	47,30	56,10	0,00	22,40	0,00	0,00	0,00	0,00	149,60
1988-89	0,00	0,00	5,20	43,30	81,40	48,40	3,90	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	182,80
1989-90	0,40	0,40	15,20	32,40	56,60	45,00	*	0,00	0,00	0,50	0,00	*	150,50
1990-91	0,00	2,20	1,60	29,10	56,00	18,10	23,50	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	133,70
1991-92	0,00	*	*	*	58,50	9,20	*	*	0,00	*	0,00	0,00	67,70
1992-93	*	*	*	*	*	*	*	*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1993-94	*	10,40	*	19,00	*	*	1,00	*	0,00	*	0,00	*	30,40
1994-95	*	*	15,00	59,20	21,90	*	*	*	*	*	*	*	96,10
1995-96	*	*	0,00	*	14,20	41,80	0,00	0,00	*	0,00	*	*	56,00
1996-97	4,00	0,00	16,00	30,00	91,00	29,00	15,00	0,00	21,00	0,00	0,00	0,00	206,00
1997-98	0,00	38,00	9,00	20,00	12,00	35,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	121,00
1998-99	*	5,00	8,01	18,00	213,50	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	252,51
1999-00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,00	43,00	30,60	0,20	0,00	6,00	*	0,00	106,80
2000-01	0,00	0,00	*	*	27,00	43,00	30,60	0,20	0,00	6,00	*	0,00	106,80
2001-02	*	*	*	58,00	*	41,40	46,50	0,00	0,00	0,00	0,00	*	145,90
2002-03	0,00	0,00	0,00	30,00	*	31,50	34,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	96,50
2003-04				7,20	82,00	28,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	117,20

DETALLE MENSUAL (mm)

Máxima	4,00	38,00	49,90	163,60	213,50	68,20	77,60	22,40	21,00	6,00	3,20	0,00	
Promedio	0,20	4,44	8,66	30,35	52,00	32,56	17,60	2,52	0,97	0,52	0,27	0,00	150,09
Máx. Gral.	213,50												
Media Gral.	12,51												

DETALLE ANUAL (mm)	
Máx. Anual	337,70
Med Anual	150,09

Detalle de Meses	
Con	248,00
Sin datos	49,00
Total	297,00

Porcentaje (%)	
Recibido	84,00
Faltante	16,00

PLANILLA N°1

RIO: AMPAJANGO
 LUGAR: DESARENADOR
 PROVINCIA: CATAMARCA
 CUENCA: RIO PASAJE O SALADO

LATITUD 28° 53'
 LONGITUD 68° 03'
 ALTITUD (msnm) 2100
 AREA (km2) 144

AÑO	CAUDALES MEDIOS MENSUALES M3/S												RECURS. SOBRE LA CUENCA MM	CAUDAL ESPEC. L/S/KM2	DERRAME ANUAL HMS	ESCUR. C A U D A L E S M3/S		
	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.				MAXIMO	MINIMO	MEDIO
48-49	0,130	0,140	0,130	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
49-50	0,220	0,270	0,260	.....	.....	.....	.....	0,280	0,420	0,310	0,260	0,250	.....	.....	.....	.....	.....	.....
50-51	0,230	0,220	0,210	0,190	0,470	0,510	0,510	0,480	0,400	0,300	0,260	0,250	10,6	2,32	73,3	.....	.....	.....
51-52	0,220	0,210	15,2	0,260	0,450	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

SIN OBSERVACIONES

54-55	.....	0,240	0,250	0,260	0,550	0,580	0,540	0,510	0,430	0,340	0,210	0,240	.....	.....	.....	.....	.....	.....
55-56	0,280	0,260	0,340	0,460	0,430	0,630	0,490	0,370	0,240	0,190	0,180	0,200	10,6	2,32	73,3	.....	.....	0,334
56-57	0,200	0,220	0,260	0,370	0,590	0,610	0,520	0,430	0,290	0,230	0,160	0,180	10,6	2,34	73,7	.....	.....	0,337
57-58	0,180	0,190	0,200	0,230	0,650	0,610	0,640	0,540	0,390	0,310	0,260	0,210	11,5	2,54	80,2	.....	.....	0,366
58-59	0,220	0,280	0,330	0,270	0,400	0,490	0,570	0,360	0,270	0,220	0,210	0,200	10,1	2,21	69,9	.....	.....	0,319
59-60	0,200	0,180	0,150	0,200	0,610	0,570	0,650	0,470	0,380	0,360	0,280	0,300	10,9	2,40	75,8	.....	.....	0,345
60-61	0,280	0,240	0,220	0,300	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

PROM.	0,216	0,223	0,260	0,282	0,519	0,571	0,531	0,428	0,353	0,283	0,229	0,229	10,7	2,36	74,4	.....	.....	0,339
MAX.	0,280	0,280	15,2	0,460	0,650	0,630	0,640	0,540	0,430	0,360	0,300	0,300	11,5	2,54	80,2	.....	.....	0,366
MIN.	0,130	0,140	0,130	0,190	0,400	0,490	0,450	0,280	0,240	0,190	0,160	0,180	10,1	2,21	69,9	.....	.....	0,319

DURACION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES - PERIODO	1948-49/1960-61 ** 11 AÑOS **													
	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	MINIMO
MAXIMO	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	MINIMO

CAUDALES M3/S	15,2	0,610	0,570	0,480	0,450	0,400	0,310	0,280	0,260	0,230	0,220	0,210	0,190	0,180
% DEL MODULO	4466	180	168	141	133	118	91	83	77	68	65	62	56	53

OBSERVACIONES SUSPENDIDAS EN ENERO DE 1961.

Subsecretaría de Planificación de Recursos Hídricos – Dirección de Recursos Hídricos – Prov. de Catamarca
 Localidad: Ampajango – Dto. Santa María
 PLANILLA DE DATOS DE AFOROS (Años 2002/04)
 Caudales medios mensuales m³/segundo
 Lugar: 100 m. aguas arriba del Azud
 Una sola Sección de aforo
 Río Ampajango

PERIODO	MES	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
2001/2002	S.1										0,701	0,472	
2002/2003		0,305	0,187	0,247			0,174	0,336			0,263		
2003/2004			0,132			0,123							
	MIN	0,305	0,132	0,247	0,000	0,000	0,174	0,336	0,000	0,000	0,263	0,472	0,000
	MAX	0,305	0,187	0,247	0,000	0,000	0,174	0,336	0,000	0,000	0,701	0,472	0,000

PLANILLA N° 3

ANEXO III
FOTOGRAFÍAS

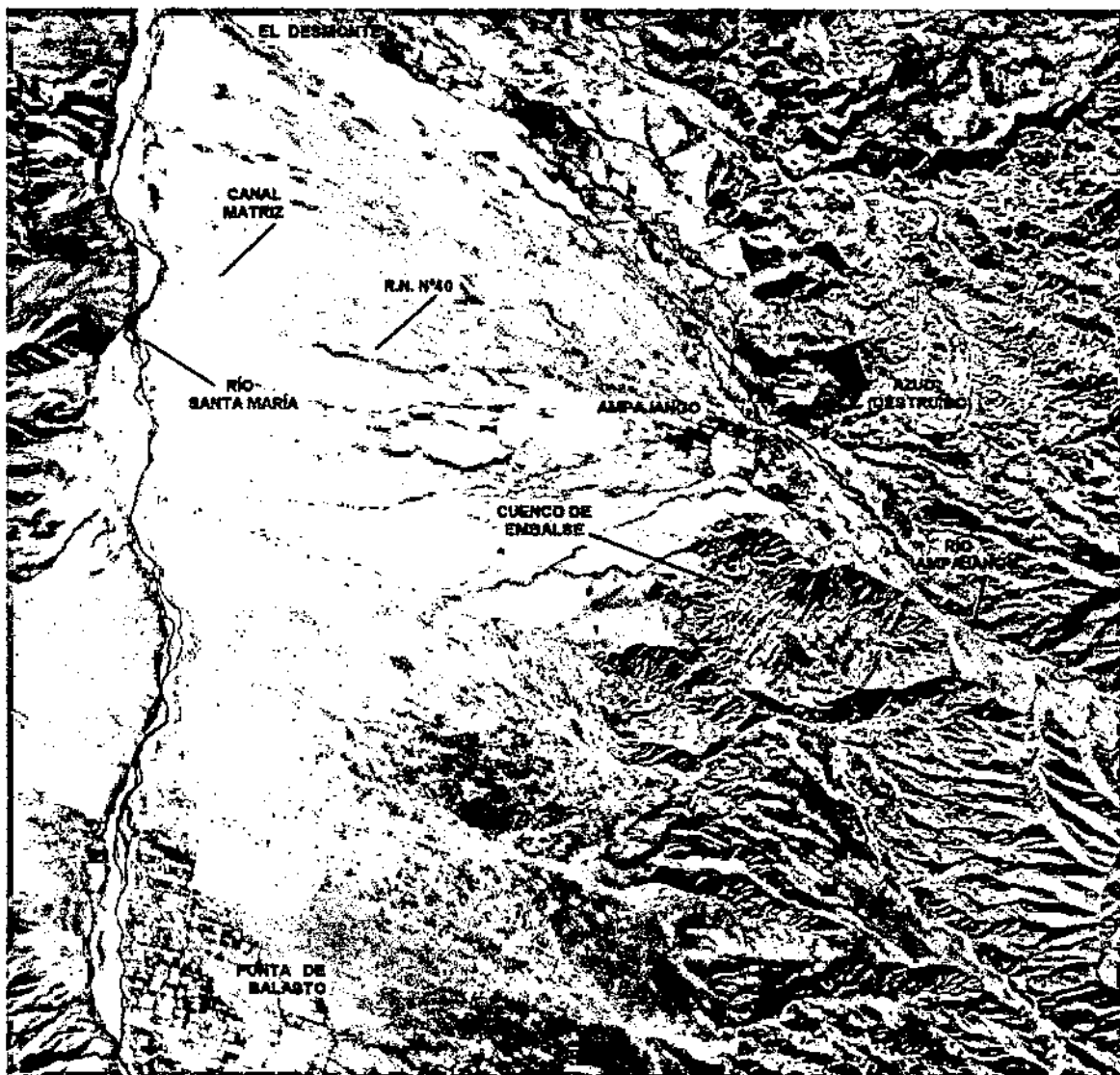


FOTO N° 1: Vista general del área de proyecto



FOTO N° 2: Río Ampajango a su paso por el azud (destruido)



FOTO N° 3: Cuenco lateral de embalse

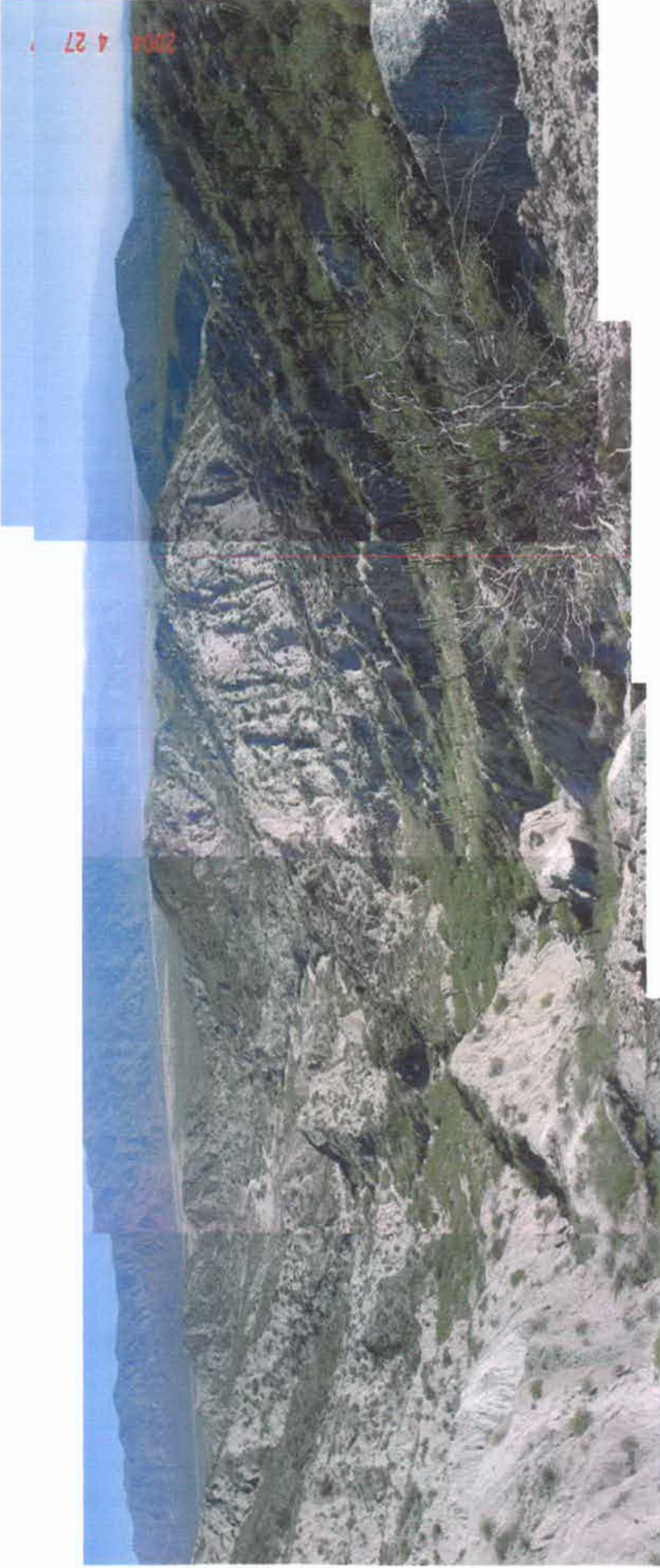


FOTO N° 4: Cuenco lateral visto desde su cabecera Este. Estratos del la Fm. Zanja del Molle



FOTO N° 5: Entrada del Río Ampajango al valle de Santa María



FOTO N° 6: Vista hacia aguas arriba del Río Ampajango en la zona de toma y derivación al cuenco lateral

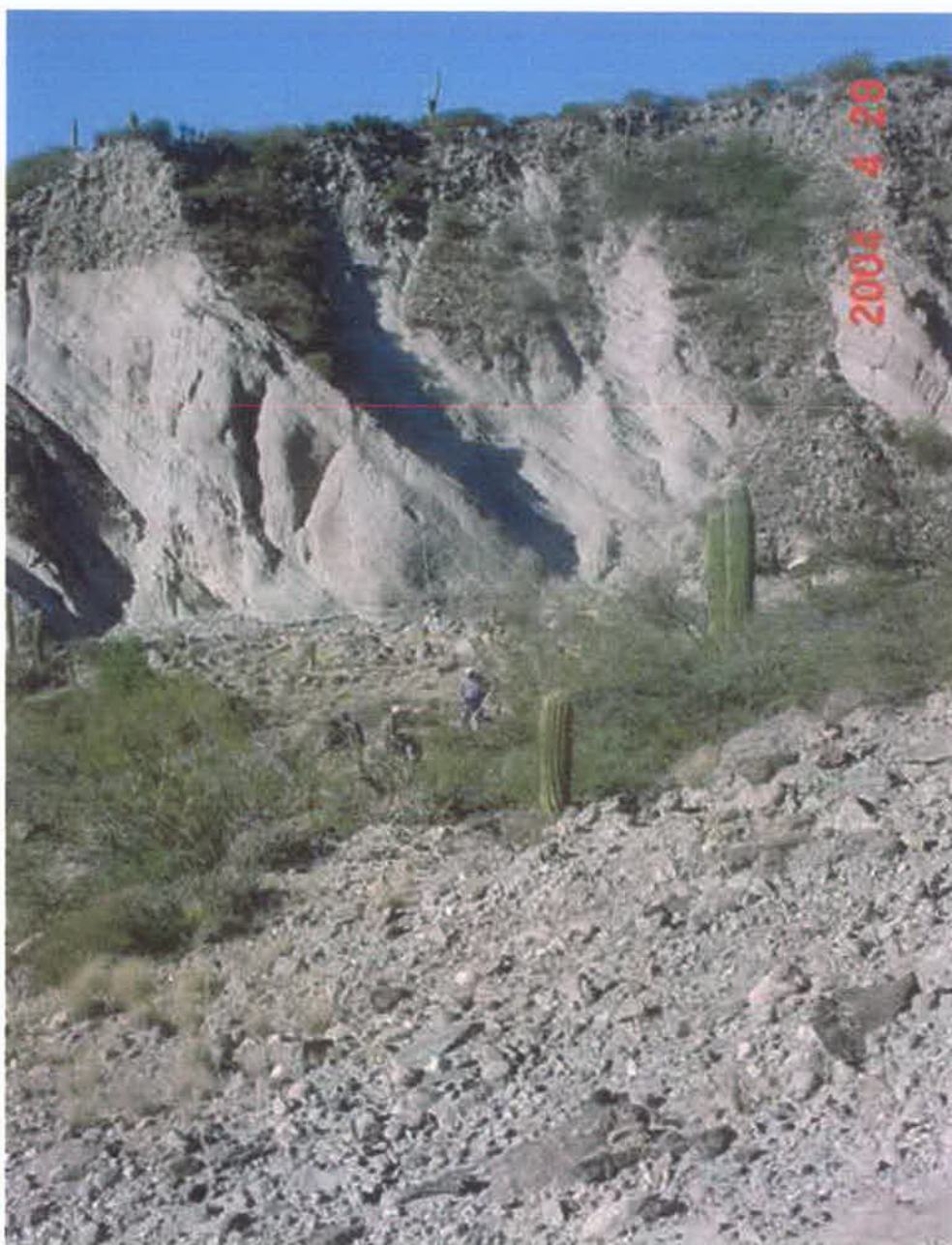


FOTO N° 7: Fanglomerado cubriendo discordantemente los estratos del Grupo Santa María, los que buzcan hacia aguas arriba.

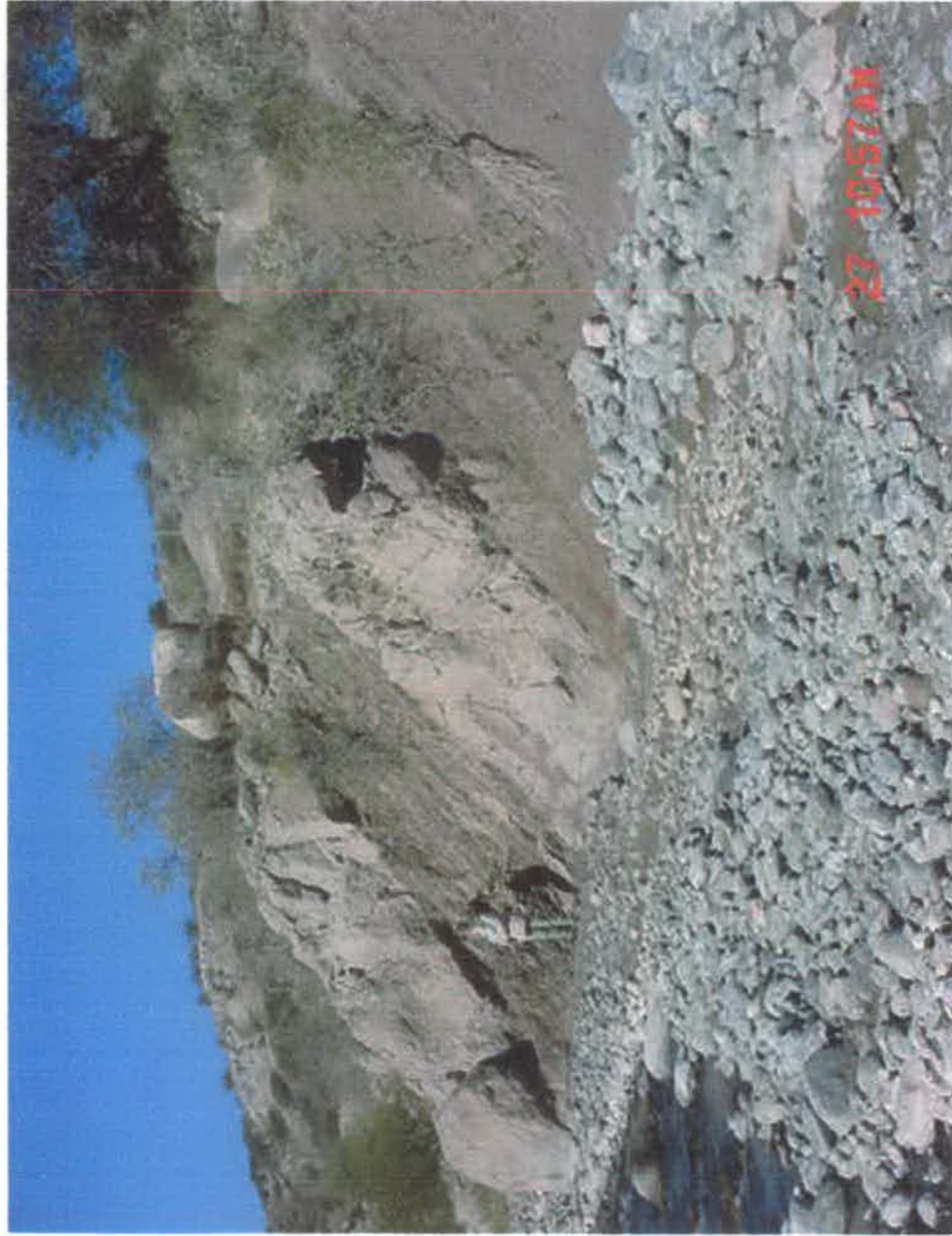


FOTO N° 8: Alternancia de estratos de distinta competencia. Margen izquierda del Río Ampajango

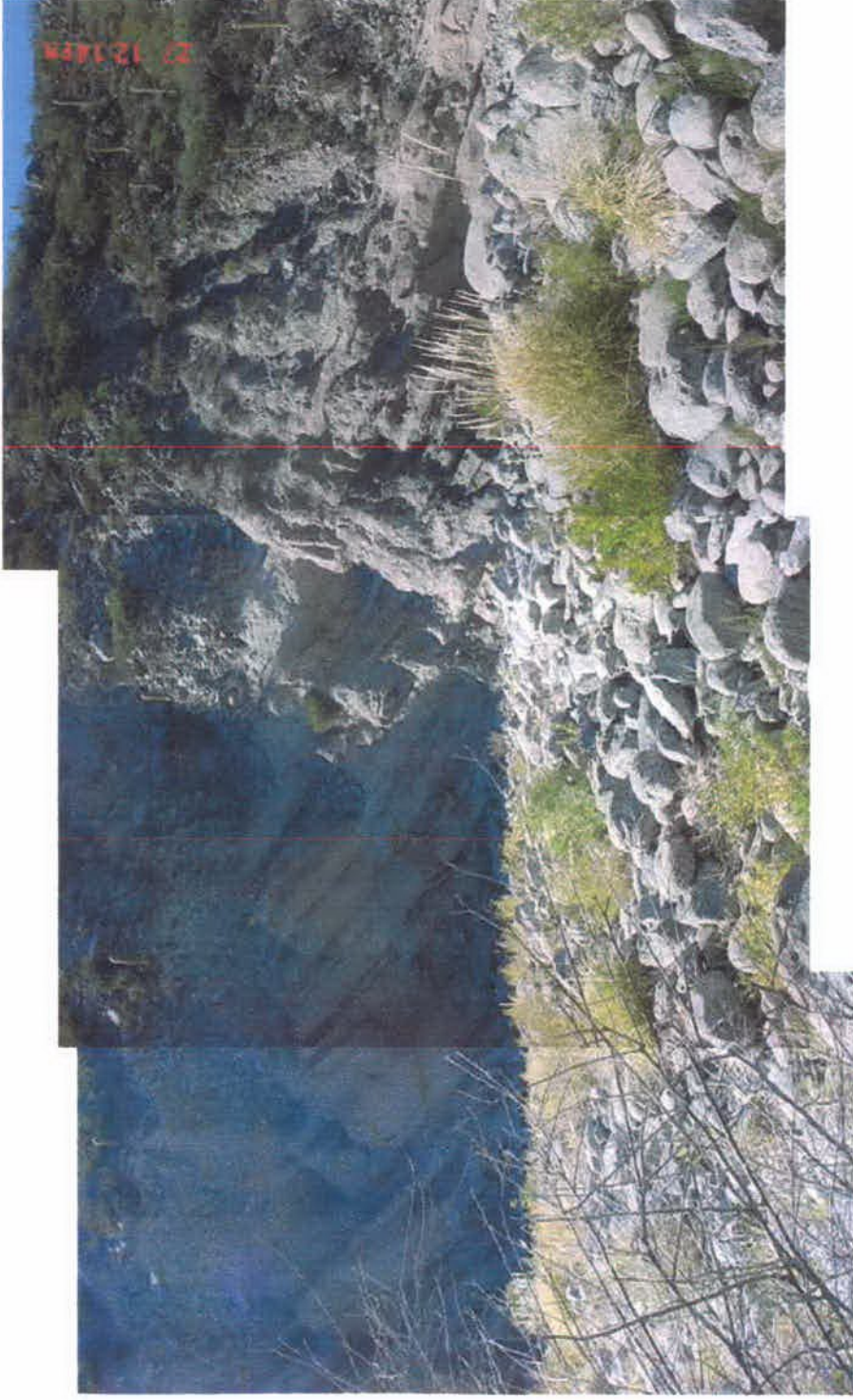


FOTO N° 9: El Cuartario cubriendo estratos plegados del Grupo Santa María. Margen derecha del Río Ampajango.

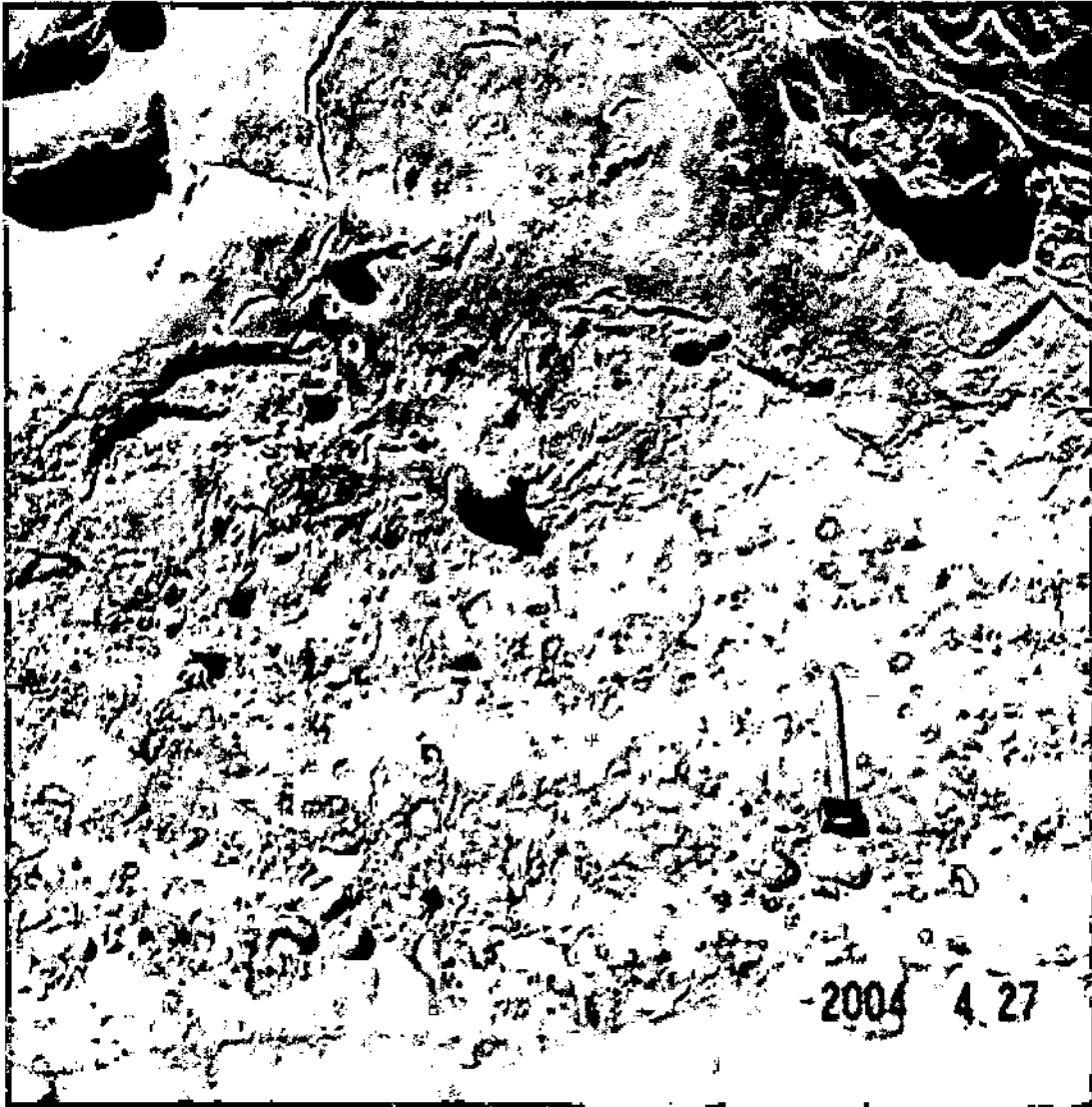


FOTO N° 10 : ZONA I . Areniscas y conglomerado polimíctico.



FOTO N° 11: ZONA II . Areniscas finas e intercalaciones pelíticas.

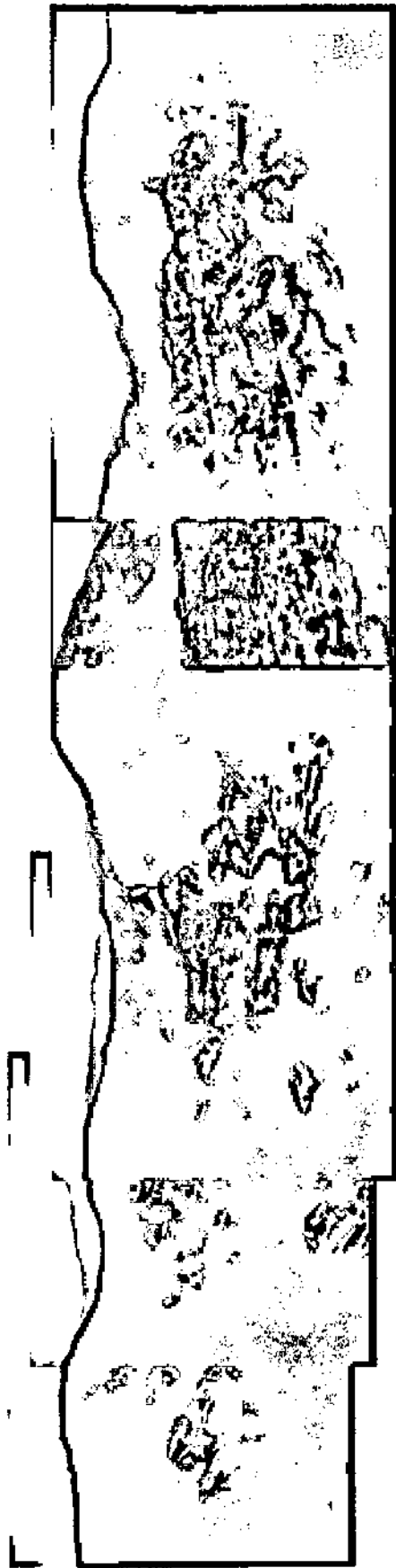


FOTO N° 12 : Vista del vaso . (desde el Punto D).

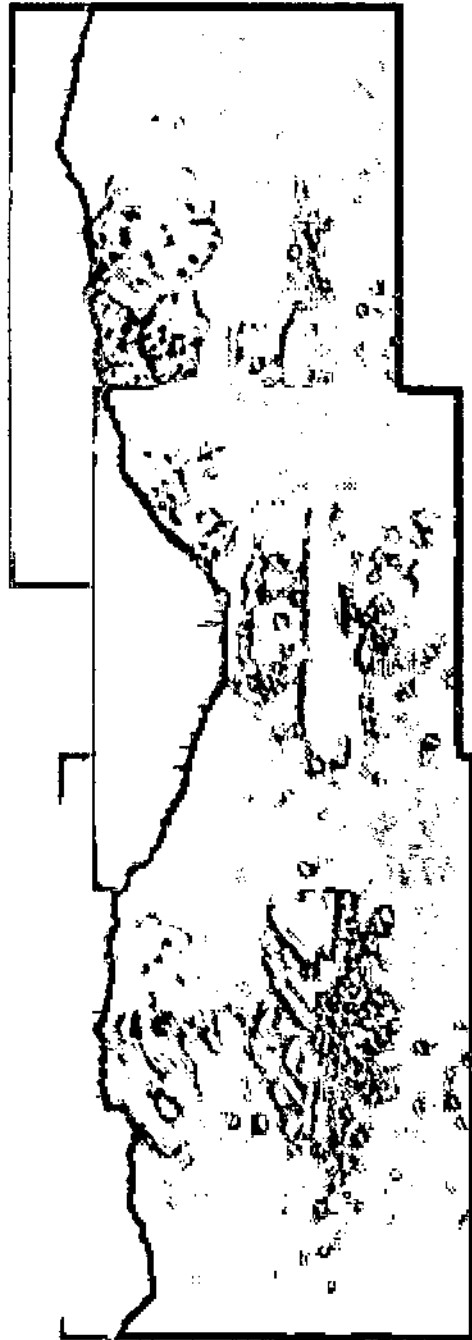


FOTO N° 13: Vista de la zona de toma (la flecha indica el sitio de embocadura del túnel)



FOTO N° 14: CIERRE VARIANTE I. (Tomada desde el punto D).



FOTO N° 15: CIERRE VARIANTE II. (Tomada desde el Sur).



FOTO N° 16 : Vertiente a la salida del cuenco lateral. Frente a estación E2.

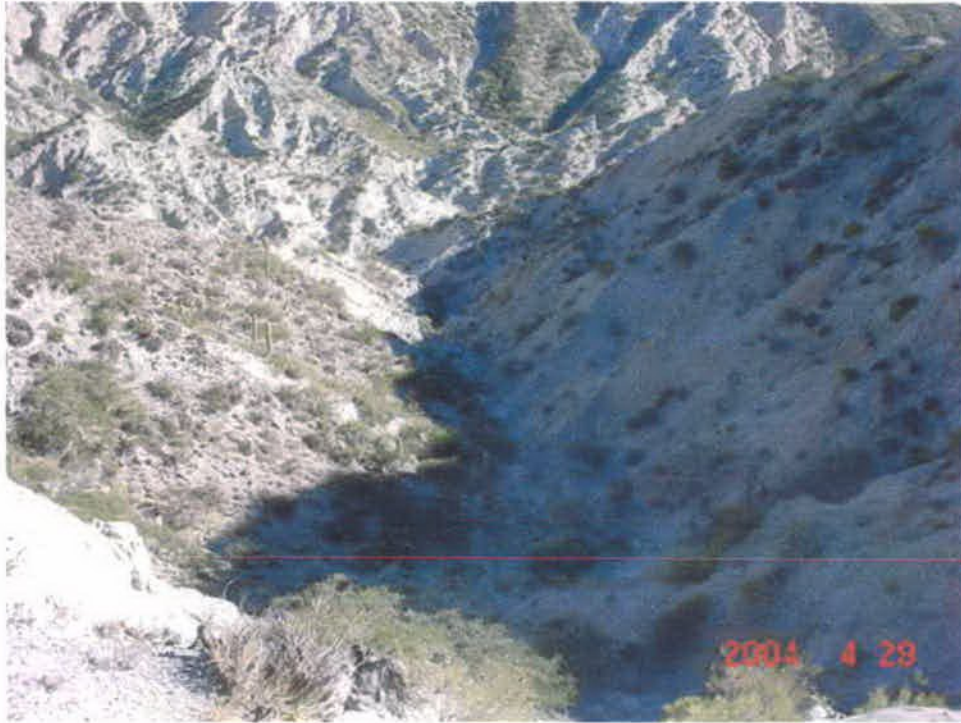


FOTO N° 17: Vista del cañadón de derivación, desde el portezuelo.

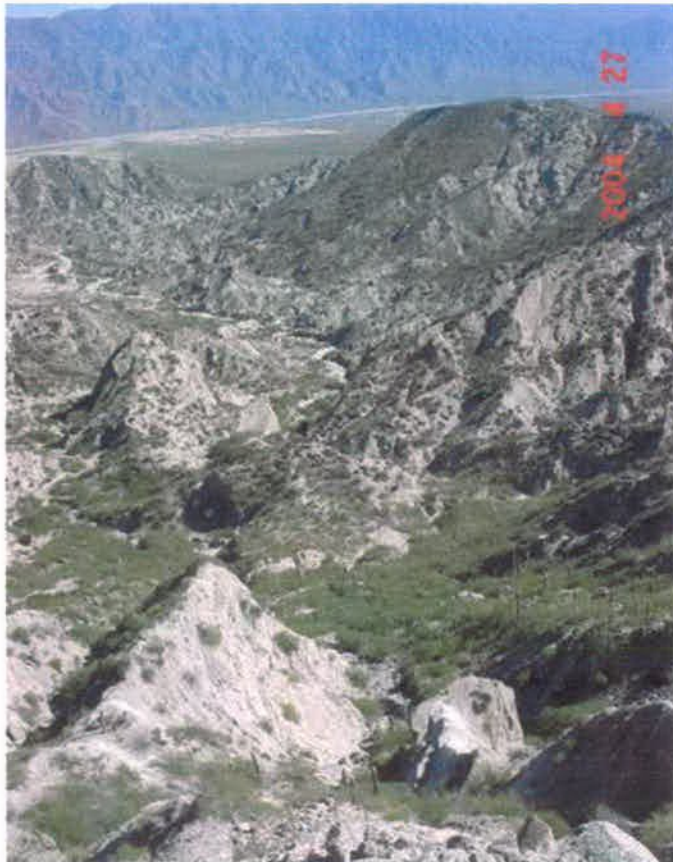


FOTO N° 18 : Vista del cañadón de derivación en su tramo final.(PERFIL R-S)



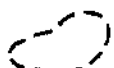
FOTO N° 19: Ubicación de obras.



FOTO N° 20: SITIO 3. Toma de muestras indisturbadas.



FOTO N° 21: Ubicación de materiales de construcción



Area investigada expeditivamente



FOTO N° 22: Sitio Finos 2 . Al fondo Qda. del Río Ampajango



FOTO N° 23: Sitio Finos 2 . Detalle



FOTO N° 24: Arenas y Gravas . Río El Vallecito



FOTO N° 25: Sitio Gravas 2 . Detalle

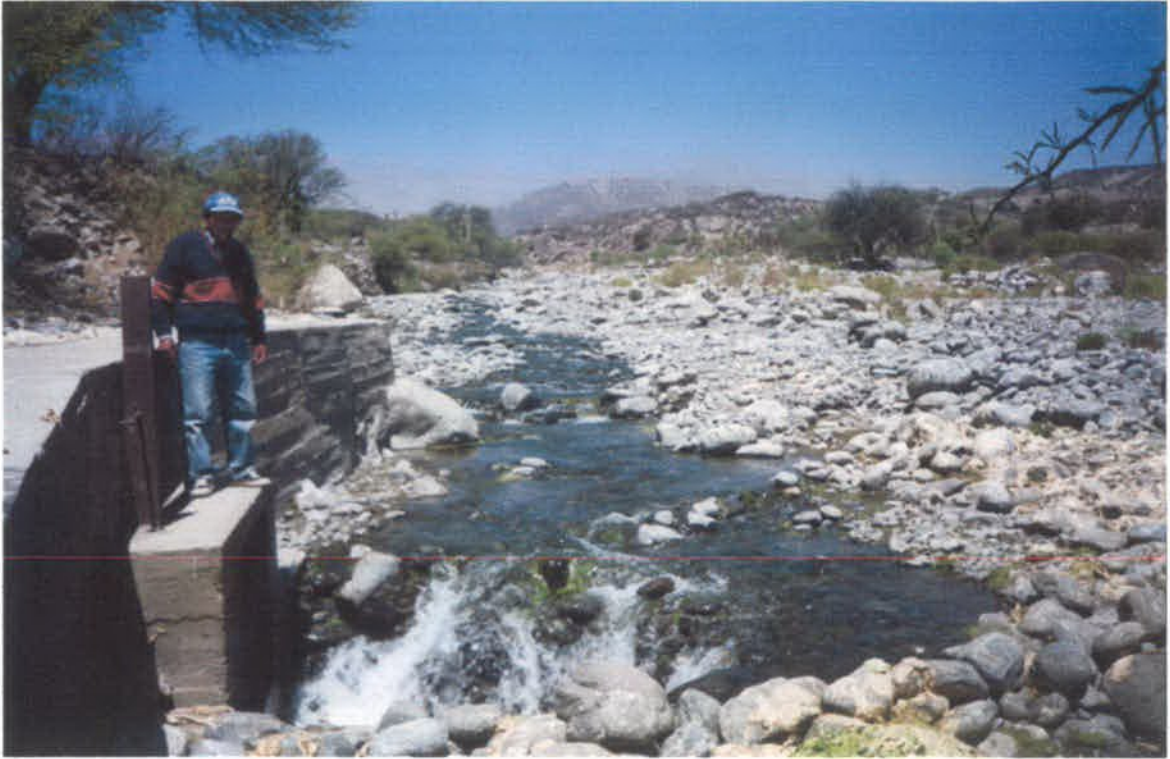


FOTO N° 26: Toma de agua, Río Ampajango.

ANEXO IV

FICHAS DE LOS ANTECEDENTES

ANEXO IV. FICHAS DE LOS ANTECEDENTES

Se incluyen en esta lista información de distintas fuentes y de las cuales se realiza una breve descripción de su contenido.

1- Descripción Geológica de la Hoja 11e, SANTA MARIA. Ex Servicio Nacional Minero Geológico. Oscar J. Ruiz Huidobro. Bs. AS. 1972. Boletín N° 134.

Resumen Descriptivo:

Constituye el material más importante desde el punto de vista regional y particular, ya que la cuenca del río Ampajango se desarrolla casi íntegramente dentro de esta Hoja Geológica.

Si bien por esto, toda referencia es de interés, la descripción geológica (estratigrafía y estructura) y su Carta Geológico - Económica en Escala

1: 200.000, son un antecedente muy importante para la Caracterización Geológica Regional del Proyecto.

2- Descripción Geológica de la Hoja 12e, ACONQUIJA. Ex Dirección Nacional de Minería. Félix González Bonorino. Bs. As. 1951. Boletín N° 75.

Resumen Descriptivo:

Constituye un complemento a la Hoja 11e, Santa María, ya que una pequeña porción de la cuenca del río Ampajango, pertenece a esta Hoja

(extremo norte de la misma).

Son de interés general y particular la Descripción Geológica y su Carta Geológico -Económica en Escala 1:200.000.

3- Descripción Geológica de la Hoja 10e, CAFAYATE. Ex Servicio Geológico Nacional. Amilcar F. Galván. Bs. As. 1981. Boletín N° 177.

Resumen Descriptivo:

Comprende la Geología Regional de los terrenos correspondientes Sierras de Quilmes y Cumbres Calchaquíes y del Valle de Santa María ubicados inmediatamente al norte de la Hoja 11 e.

Por existir una verdadera continuidad geológico - estructural de los materiales de una y otra hoja, esta descripción y su Carta Geológico-Económica en Escala 1:200.000, son de interés para el proyecto.

4- Descripción Geológica de la Hoja 11d, LAGUNA BLANCA. Ex Servicio Nacional Minero Geológico. Juan Carlos M. Turner. Bs. As. 1973. Boletín N° 142.

Resumen Descriptivo:

Comprende la descripción geológica de terrenos situados en la ladera occidental de las Sierras del Cajón y hacia el oeste.

Es de interés ya que, litológica, estratigráfica y estructuralmente se corresponden con aquellos del proyecto Ampajango.

5- Estudio Preliminar para el aprovechamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Pasaje-Juramento-Salado. Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Comité de Cuenca. Consejo Federal de Inversiones. Tomo I. 1977

Resumen descriptivo:

Hidrología e Hidráulica.

Información al respecto sobre el río Santa María y sus afluentes. Pág. 27 y siguientes.

Estaciones de aforo y períodos de medición de las mismas. Pág. 37-38.

Inventario de Usos del agua. Pág. 62; 68; 73.

Geología:

Caracterización Geológica General de la Alta Cuenca del río, en base a las Hojas Geológicas que la integran, de interés especial:

Hoja 11e, Santa María – Pág. 168/170 y Hoja 10e, Cafayate – Pág. 170/174.

Aproximación hacia una Caracterización Hidrogeológica de la Alta Cuenca.

Refiere a las reservas de agua subterránea en la alta cuenca, de interés especial las del valle del río Santa María – Pág. 215-216.

Suelos, Clima y Vegetación:

Clima. Pág. 274 y siguientes. Interesantes mapas de presión atmosférica y temperaturas. Gran parte del resto de la información no corresponde al área de interés.

6- Sierras Pampeanas de Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. Roberto Caminos. Primer Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Córdoba, 1969.

7- Sierras Pampeanas Noroccidentales Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. Roberto Caminos. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Volumen I. 1979.

Resumen descriptivo:

Constituye una síntesis de la geología e historia geológica de este Sistema.

Interesante es el tratamiento del Cenozoico, incluida una breve síntesis de los Estratos del Valle de Santa María. Pág. 266 y siguientes.

8- Subsecretaría de Recursos Hídricos. Dirección de Recursos Hídricos. Provincia de Catamarca. Planillas de datos de aforos del Río Ampajango. Años 2002/03. Sección de aforos: Desarenador.

9- Agua y Energía Eléctrica. Planillas de datos de aforos del Río Ampajango. Años 1948-49 /1960-61 (11 años). Sección de aforos: Desarenador.

10- Subsecretaría de Planificación de Recursos Hídricos. Dirección de Recursos Hídricos. Provincia de Catamarca. Estación Pie de Médano. Dto. Santa María Planillas de datos Pluviométricos. Período 1979-80 / 1991-92 y 1993-94 / 2003-04.(24 años)

11- Convenio Específico de Cooperación entre la Universidad de General San Martín y la Secretaría de Estado del Ambiente de la Provincia de Catamarca. Anexo I. Etapa I. Informe. Bs. As. Abril de 2000.

Resumen descriptivo:

Estudio de distintas alternativas de cierres para embalse sobre el río Cerro Colorado (cuenca superior del río Santa María) ladera occidental de la Sierra del Cajón.

Interesa la Sección III, Documentos, constituida por planillas y gráficos de aforos y lluvias correspondientes al valle de Santa María.

Especial interés guarda el estudio y sus conclusiones en cuanto al Potencial de Sismicidad en el área del Proyecto, ya que el mismo se encuentra a menos de 50 Km en línea recta del sitio del Proyecto Ampajango y en un mismo entorno geológico.

12- Obras Sanitarias de Catamarca. Ministerio de Economía. Anteproyecto: Toma Sobre el Río Ampajango. Departamento Santa María. Augusto Avilés. 1982. Informe Inédito.

Resumen Descriptivo.

Contiene una memoria con datos generales de la hidrología y la geología de la cuenca y de la ingeniería del proyecto.

Planos de la topografía e ingeniería de proyecto.

B - Documentación Gráfica

- 1- Carta Topográfica SANTA MARIA, 2766-I. Escala 1:250.000. Proyección Conforme Gauss-Kruger. Compilación 1986. Instituto Geográfico Militar.
- 2- Carta Topográfica SAN MIGUEL DE TUCUMÁN, 2766-II. Escala 1:250.000. Proyección Conforme Gauss-Kruger. Compilación 1988. Instituto Geográfico Militar.
- 3- Carta Topográfica BELEN, 2766-III. Escala 1:250.000. Proyección Conforme Gauss-Kruger. Compilación 1988. Instituto Geográfico Militar.
- 4- Carta Topográfica CONCEPCIÓN, 2766-IV. Escala 1:250.000. Proyección Conforme Gauss-Kruger. Compilación 1985. Instituto Geográfico Militar.
- 5- Carta Imagen Satelital de la República Argentina. Escala 1:250.000. SANTA MARIA, 2766-I. Años 1996/1997. Instituto Geográfico Militar.
- 6- Carta Imagen Satelital de la República Argentina. Escala 1:250.000. SAN MIGUEL DE TUCUMAN, 2766-II. Años 1996/1997. Instituto Geográfico Militar.
- 7- Carta Imagen Satelital de la República Argentina. Escala 1:250.000. BELEN, 2766-III. Años 1996/1997. Instituto Geográfico Militar.
- 8- Carta Imagen Satelital de la República Argentina. Escala 1:250.000. CONCEPCIÓN, 2766-IV. Años 1996/1997. Instituto Geográfico Militar.
- 9- Fotogrametría aérea, Escala 1:50.000. Instituto geográfico Militar, Plan Cordillerano año 1964, corridas:

2767 / 216 – 10	2767 / 217 – 3
2767 / 216 – 11	2765 / 105 – 12
2767 / 217 – 7	2765 / 106 - 10
2767 / 217 – 5	2765 / 106 - 11
- 10- Instituto Fotográfico Argentino (IFTA) Planimetría Aerofotogramétrica del Valle del Río Santa María. Escala 1:10.000. Ministerio de Obras Públicas. Provincia de Catamarca. 1960.

Consta de siete Hojas georreferenciadas, del valle del río Santa María, desde el norte de la provincia hasta Punta de Balasto en el sur.

Son de interés las Hojas Nº 6 y Nº 7.
- 11- Programa Para el Uso del Agua. Cuenca Río Santa María. Estaciones Meteorológicas e Hidrométricas. Mapa C-5-1. Escala 1:200.000. Consejo Federal de Inversiones – Gobierno de la Provincia de Catamarca. 1982

RIO: AMPAJANGO
 LUGAR: DESARENEDOR
 PROVINCIA: CATAMARCA
 CUENCA: RIO PASAJE O SALADO

SISTEMA RIO SALADO

LATITUD 26° 53'
 LONGITUD 66° 03'
 ALTITUD (msnm) 2100
 AREA (km2) 144

C A U D A L E S M E N S U A L E S M3/S												E S C U R R . C A U D A L E S M3/S												
C A U D A L E S M E D I O S M E N S U A L E S M3/S												S O B R E L A C U E N C A M M												
AÑO	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	DERRAME ANUAL	CAUDAL ESPEC.	ESCURR. LA	SOBRE LA CUENCA	MM	DIARIO	DIARIO	ANUAL	MINIMO	MEDIO		
													HM3	L/S/KM2										
48-49	0,130	0,140	0,130	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
49-50	0,220	0,270	0,260	*****	*****	*****	*****	0,280	0,420	0,310	0,260	0,250	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
50-51	0,230	0,220	0,210	0,190	0,470	0,510	0,510	0,480	0,400	0,300	0,260	0,250	10,6	2,32	73,3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,335	
51-52	0,220	0,210	15,2	0,260	0,450	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
S I N O B S E R V A C I O N E S																								
54-55	*****	0,240	0,290	0,260	0,550	0,580	0,540	0,520	0,430	0,340	0,220	0,240	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
55-56	0,280	0,260	0,340	0,460	0,430	0,630	0,490	0,320	0,240	0,190	0,180	0,200	10,6	2,32	73,3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,334
56-57	0,200	0,220	0,260	0,370	0,590	0,610	0,520	0,430	0,290	0,230	0,160	0,180	10,6	2,34	73,7	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,337
57-58	0,180	0,190	0,200	0,230	0,650	0,610	0,640	0,540	0,390	0,310	0,260	0,210	11,5	2,54	80,2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,366
58-59	0,220	0,280	0,330	0,270	0,400	0,490	0,570	0,380	0,270	0,220	0,210	0,200	10,1	2,21	69,9	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,319
59-60	0,200	0,180	0,150	0,200	0,610	0,570	0,450	0,470	0,380	0,360	0,280	0,300	10,9	2,40	75,8	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,345
60-61	0,280	0,240	0,220	0,300	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
PROM.	0,216	0,223	1,60	0,282	0,519	0,571	0,531	0,428	0,353	0,283	0,229	0,229	10,7	2,36	74,4	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,339
MAX.	0,280	0,280	15,2	0,460	0,650	0,630	0,640	0,540	0,430	0,360	0,280	0,300	11,5	2,54	80,2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,366
MIN.	0,130	0,140	0,130	0,190	0,400	0,490	0,450	0,280	0,240	0,190	0,160	0,180	10,1	2,21	69,9	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,319

D U R A C I O N D E C A U D A L E S M E D I O S M E N S U A L E S - P E R I O D O 1948-49/1960-61												**			11 AÑOS			**																																		
												60			70			80			90			95																												
												MINIMO			MAXIMO			CAUDALES M3/S			% DEL MODULO			MINIMO																												
5	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	95	MINIMO	MAXIMO	CAUDALES M3/S	% DEL MODULO	MINIMO	MAXIMO	CAUDALES M3/S	% DEL MODULO	MINIMO	MAXIMO	CAUDALES M3/S	% DEL MODULO																													
												0,260	0,230	0,220	0,210	0,190	0,180	0,130	38	53	56	62	65	68	77	83	88	91	91	118	133	141	141	168	180	180	4486	180	168	180	180	4486	180	168	180	180	4486	180	168	180	180	4486

OBSERVACIONES SUSPENDIDAS EN ENERO DE 1961.

REPUBLICA



ARGENTINA

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y MINERIA
SUBSECRETARIA DE MINERIA
SERVICIO NACIONAL MINERO GEOLOGICO
Avda. JULIO A. ROCA 651

BOLETIN Nº 134

DESCRIPCION GEOLOGICA
DE LA
HOJA 11e, SANTA MARIA

Provincias de
Catamarca y Tucumán

Carta Geológico-Económica de la República Argentina

Escala 1 : 200.000

POR

OSCAR J. RUIZ HUIDOBRO



BUENOS AIRES

1972

INTRODUCCION

A - Ubicación de la Hoja y área que abarca

La Hoja 11e, Santa María está ubicada en el ángulo noroeste de la provincia de Tucumán y comprende el área limitada por los paralelos $26^{\circ} 30'$ y 27° de latitud sur y los meridianos $65^{\circ} 30'$ y 66° de longitud oeste. Más de las tres cuartas partes de la superficie de la Hoja, de 4.132 km², corresponde al relieve montañoso determinado por las serras del Cajón y del Anconquiya, Cumbres Calchaquíes, separadas por los valles de Santa María y de Tafi.

B - Naturaleza del trabajo

La descripción geológica de la Hoja 11e, Santa María es el resultado de trabajos de campaña y de gabinete. Los trabajos de campaña se llevaron a cabo, de manera interrumpida, durante cinco meses de los años 1955 y 1962. El reconocimiento geológico abarcó también la parte norte del valle de Santa María, que corresponde a la Hoja 10e, Cafayate.

El carteo geológico se basó en el trabajo topográfico a escala 1:100.000 de Julio Guiván, realizado durante los años 1952 y 1953, y el correspondiente al borde occidental de la sierra del Cajón, a cargo del topógrafo Juan A. Krukowski, en el año 1955.

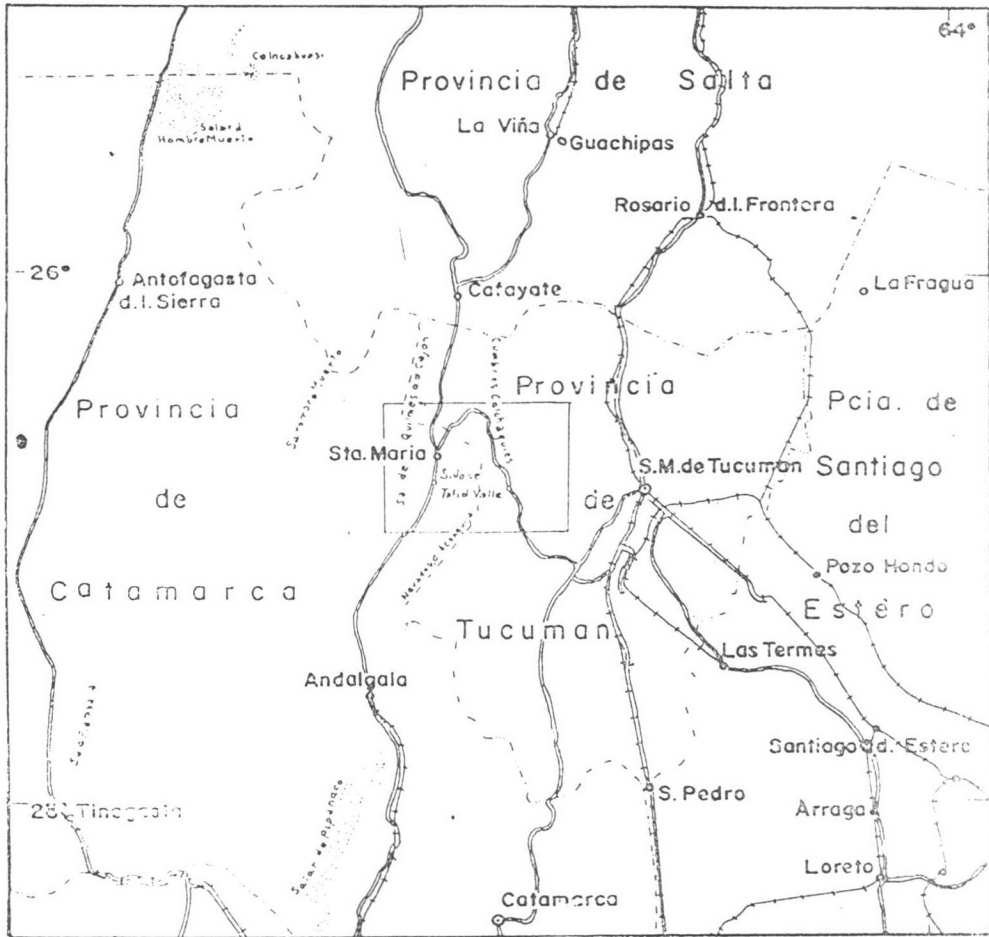
En los trabajos de campo, durante la primera campaña, prestó colaboración el señor Juan C. Porto del Instituto Miguel Lillo.

En la segunda campaña se efectuó una visita de 3 días al yacimiento de caliza de Peñas Azules, con los geólogos Celestino Danieli y Luna Reyero de la misma institución. En las tareas de gabinete colaboraron los doctores Fernando Sesana y E. Llambías, en la descripción petrográfica de algunas rocas ígneas y metamórficas, y el señor José E. Pérsico con algunos dibujos.

C - Investigaciones anteriores

Los trabajos de Rassmuss, realizados en 1913-1914 y 1917-1918 en la sierra del Anconquiya contribuyen al conocimiento geológico de la cuenca del Tafi y zonas aledañas y de Amaicha del Valle. Pastore y Bonarelli (1919) han publicado sólo un bosquejo geológico de la provincia de Tucumán, que se ocupa principalmente de la estratigrafía de los depósitos terciarios. Kuhn (1924) y Rohmeder (1943) se ocupan de la fisiografía de esta región. Los trabajos de Peirano publicados en 1943 y 1944 se refieren a la fisiografía y geología de la cuenca de Tafi y zonas aledañas, y de Amaicha del Valle.

PLANO DE UBICACION DE LA HOJA 11 e
SANTA MARIA-CATAMARCA
E'SCALA 1:2.500.000



GEOGRAFÍA

A - FISIOGRAFÍA

En la superficie que abarca la Hoja que corresponde al ambiente de las Sierras Pampeanas, se pueden distinguir los elementos estructurales positivos: el cordón montañoso Sierra del Anconquiya-Cumbres Calchaquíes y la sierra del Cajón. Estos dos ambientes serranos están separados por una larga y más bien estrecha depresión estructural conocida como valle de Santa María. Por otra parte, una estructura transversa rompe la continuidad de la línea orogénica Anconquiya-Cumbres Calchaquíes separada por valles consecuentes que se dirigen desde el abra del Infiernillo hacia Tafí y Amaicha, respectivamente.

1 - Orografía

Las principales elevaciones de la Hoja se encuentran en la Sierra del Anconquiya y en las Cumbres Calchaquíes. La sierra del Anconquiya pierde altura desde el Morro del Zarzo (5.064 m) hacia el Abra del Infiernillo (3.040 m), pasando por el Alto de Muñoz (4.437 m). En este macizo se observan otras alturas menores, como ser: los morros de los Ciegos y de los Venados y el Filo del Pajonal en el sur; y los morros de Bernardo, de Jutuyacu y de Rumicarco en el norte.

Las Cumbres Calchaquíes se extienden desde el abra del Infiernillo hasta los límites tucumano-salteños. Sus mayores alturas están frente a la quebrada de Amaicha, desde donde se destacan el cerro Pabellón (3.700 m); Cumbres del Potrerillo y Cerro Alazán; El Negrito (4.660 m) y el Alto de La Mina (4.762 metros).

Las cumbres de Mala Mala o de Tafí (3.400 m) forman el marco oriental del valle de Tafí. Entre estas cumbres y el cerro Pabellón se intercala una pequeña cuenca de hundimiento denominada la Ciénaga. El cerro Nuñorco Grande (3.320 m), que cierra el valle de Tafí por el extremo sur, está acompañado por su gemelo el Nuñorco Chico, ubicado fuera de los límites de la Hoja.

En el borde oriental de la Hoja, en el extremo norte, sobresale otro macizo aislado de tipo "Monadnock" como el Nuñorco Grande, que se levanta por encima del nivel general de la vieja semillanura; es el cerro Cabra Horco de 3.200 metros.

La sierra del Cajón o de Quilmes, que forma el marco occidental de la Hoja, es un cordón morfo-estructural que se extiende desde el Campo Arenal hasta la latitud de San Carlos. Su nombre alude a la forma prismática regular, determinada por dos fallas paralelas de rumbo meridional, que se extienden por más de 100 km. A estas líneas estructurales se ajusta el curso del río Santa María desde su nacimiento hasta su confluencia con el río Calchaquí. Su línea de cumbre se mantiene equidistante de los valles del Cajón y de Santa María, surcados por aquel colector, con una cota promedio de unos 3.500 metros dentro de los límites de la Hoja IIe.

Las principales elevaciones son los cerros Alto de la Huascha Ciénaga (4.362 m), Alto del Remate (4.110 m) y San Francisco (3.582 m); los mo-

rros del Balde (3.575 m) y Cashuan (3.500 m) separados por la quebrada de Saladillo y Agua de Sapo, que siguen una estructura transversa, de rumbo noroeste sudeste. Hacia el sur la línea de cumbres pierde altura en el cerro Trampeadero (3.500 m), morro Azul (3.100 m) y morro Blanco (2.970 m).

2 - Hidrografía

Las altas sierras del Anconquija y Cumbres Calchaquíes reciben del lado oriental cantidades muy considerables de lluvias que determinan una red hidrográfica muy bien desarrollada que se dirige en líneas generales hacia el este o sudeste, con tramos submeridionales coincidentes con líneas tectónicas de ese rumbo.

El drenaje del sector septentrional de la sierra del Anconquija se lleva a cabo por medio de una serie de importantes colectores que forman parte de los sistemas hidrográficos de los ríos Santa María y Tafí. Solamente el río de Las Animas no participa de estos sistemas ya que se dirige hacia el sur para ingresar al sistema del río del Pueblo Viejo como colector septentrional del río de Los Reales.

El valle del Tafí, uno de los paisajes tucumanos más atrayentes y conocidos, se extiende entre el Infiernillo y la Angostura. Morfológicamente está dividido en dos partes por el gran abanico aluvial del río Blanco y por el Loma Pelada. Los valles principales que concurren a la formación del de Tafí son los siguientes: el del río Blanco; el del río Muñoz (después río de las Carreras) y el del río Mollar.

La loma del Medio o Cerro Pelado divide la cuenca en dos partes: el valle de Tafí propiamente dicho y el valle de las Carreras.

El valle de Tafí se cierra en la Angostura, lugar en que, por otra parte, se ha proyectado la construcción de un dique. El río de Tafí sigue por la quebrada de los Sosas con el nombre de río de la Angostura o de los Sosas, hasta su confluencia con el río de Balderrama.

En la cima de las Cumbres Calchaquíes, que se presenta como una plataforma ancha, resto de la antigua penillanura, hay una serie de lagunas, conocidas con el nombre de lagunas de las Amaicheñas y de Huacaguasi o "Real de los Tabinistas". La primera desagua hacia el valle de Santa María y la segunda en el río Matadero, colector del Liquimayo.

La red de avenamiento de la ladera oriental de las Cumbres Calchaquíes pertenece a dos sistemas fluviales, a saber: el sistema del río Vipos y el sistema del río Lules.

Las culminaciones del cerro Cabrahorco, de la Lagunita y del cerro San Miguel originan la divergencia de los sistemas fluviales de los ríos Vipos y Lules, que corren sensiblemente paralelos hasta Chaquivil, donde cambian su rumbo primitivo oeste-este hacia el nordeste y sudeste, respectivamente.

El río de Chaquivil es el colector más importante del sistema hidrográfico del río Vipos como el río Liquimayo lo es del sistema del río Lules.

En Acajuli el río Chaquivil recibe el río de la Ciénaga Amarilla o de la Ternera Muerta y el río de la Quebrada Larga; curso que sigue en un trecho la falla de rumbo meridional que pasa por la Hoyada.

Al norte de Acajuli están los ríos de Las Cañas y de Huasamayo que tienen rumbos sensiblemente paralelos, coincidentes con estructuras transversales.

El río Liquimayo tiene como afluentes el río de las Hoyadas, el de San José y de la Ramadita que surcan las mesadas que se extienden desde Chaquivil hasta el Alto de Anfama. Estos colectores confluyen en la profunda y estrecha depresión estructural de la Hoyada, donde toman este nombre hasta Las Juntas, lugar donde recibe los ríos de la Ciénaga o Anfama y los que bajan del Filo de Mala Mala. Fuera de nuestra zona de estudio, después que cruza el cordón mon-

tañoso que Nogalito. C Mala y cru en el lugar

Los c mayoría, s proviene ríos Caspi

El río exiguo cau lector de l

La l manente. l aluvial. L Chanares

El río es muy ex

B - Clima

El s una de l neral del subtropi

El r dirección verano la sión es m te cálida

Los subir po humedad taciones valores

de topog minuye tentes s basal. V

lo que s un mes precipit

El bre nue tientes t conside vegeta

En épocas caracte

en el v hecho el siste

L nistran la lám

tañoso que limita al oeste del valle de Raco-Simbrón, recibe el nombre de río Nogalito. Cuando recibe el río de Potrero de Las Tablas, que nace en Mala Mala y cruza el cordón montañoso correspondiente a la sierra de San Javier, en el lugar denominado "La Puerta", se denomina río Lules.

Los colectores del río Santa María se caracterizan por estar, en su gran mayoría, secos durante un largo período del año. Los principales son los que provienen de las vertientes occidentales de la sierra del Aconquija, es decir los ríos Caspichango, Entre Ríos, Andalhuala y Ampajango.

El río Amaicha nace en las vertientes del Infiernillo. A fin de aumentar su exiguo caudal ha sido desviado, mediante una sencilla obra de captación, el colector de la cañada del Alazán, que formaba parte de la cuenca del río Tafí.

La ladera oriental de la sierra del Cajón no tiene colectores de curso permanente. Durante el verano llevan un poco de agua, que se insume en el cono aluvial. Los más importantes son los correspondientes a las quebradas de los Chañares y de Agua del Sapre.

El río Santa María lleva agua todo el año, pero su caudal durante el estiaje es muy exiguo.

B - CLIMA

El elevado cordón montañoso Aconquija-Cumbres Calchaquies representa una de las tantas barreras orográficas que se oponen a la circulación aérea general del continente sudamericano; que está bajo la influencia del anticiclón subtropical del océano Atlántico norte y del anticiclón subpacífico.

El rumbo submeridional de las sierras del noroeste argentino modifica la dirección originaria de los alisios, que en el continente corren del noreste. En el verano la diferencia de temperatura del aire entre los centros de alta y baja presión es muy marcada; por lo tanto, se produce una intensificación de la corriente cálida y húmeda del anticiclón subtropical.

Los vientos húmedos y cálidos que vienen del noreste se ven obligados a subir por las laderas orientales de las sierras; lo que determina que pierdan su humedad por condensación a medida que ascienden. Por lo tanto, las precipitaciones disminuyen desde el pie de las sierras hacia arriba, alcanzando sus valores más elevados en el tercio inferior. A medida que ascendemos en el relieve topográfico, entre 1.000 y 1.500 m, la intensidad de las precipitaciones disminuye pero aumenta su frecuencia. Es decir predominan las lloviznas persistentes sobre las lluvias torrenciales, que es el carácter dominante en la selva basal. Más hacia arriba, entre los 1.500 y 2.500 metros, el fenómeno se acentúa, lo que se manifiesta en persistentes "garúas" y neblinas, que a veces, duran hasta un mes. De los 2.500 metros hacia arriba disminuyen considerablemente las precipitaciones, que generalmente se producen como nieve, "garrotillo" y granizo.

El anticiclón subpacífico, que trae aire polar, influye en menor grado sobre nuestra zona, las precipitaciones se producen principalmente sobre las vertientes australes y del sudeste de las serranías, en el faldeo occidental disminuyen considerablemente. Esto queda bien de manifiesto en la distribución y tipos de vegetación.

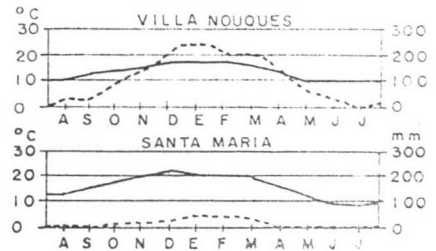
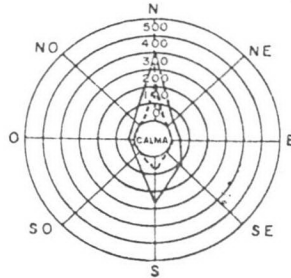
En las altas cumbres (4.500-5.000 metros) son notables en determinadas épocas los vientos del noroeste y oeste, de origen pacífico; muy molestos por su carácter de zonda. El viento zonda, muy frecuente en la primavera, es notable en el valle de Santa María. La cantidad de polvo que arrastra a su paso es un hecho característico y muy conocido en esta región, cuyo clima seco contrasta con el sistema orográfico oriental.

Las estaciones meteorológicas de Villa Nougés y de Santa María suministran información suficiente para analizar el clima de la zona. Los gráficos de la lámina han sido construidos con los valores promedios de diez años. Las cur-

— Estación: VILLA NOUQUES
 Latitud: 26° 53' S
 Longitud: 65° 23' W de G.
 Elevación: 1.388 m

---- Estación: SANTA MARIA
 Latitud: 26° 42' S
 Longitud: 66° 03' W de G.
 Elevación: 2.000 m

Frecuencia de Vientos Fig. 2



Temperatura — Precipitación..... Fig. 3

CLASIFICACION CLIMATICA según KNOCHE Fig. 6

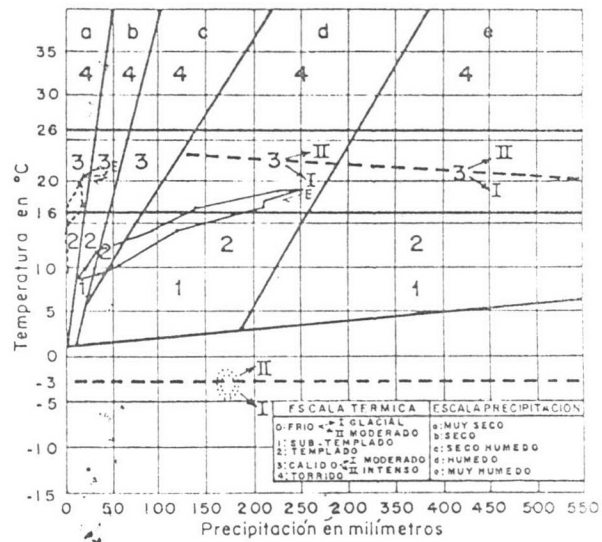
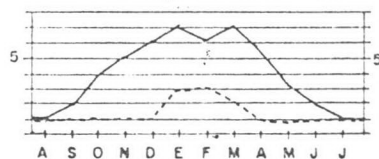
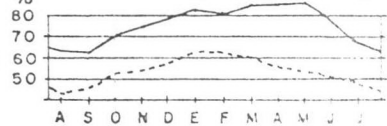


Diagrama Climático Período

Indice de Aridez Fig. 4



Humedad Relativa Fig. 5



---- Estación: TUCUMAN

— Estación: TINOGASTA

vas correspondientes a cada estación se han dibujado conjuntamente para destacar la diferencia climática existente a ambos lados de la barrera climática.

Los vientos dominantes soplan de los cuadrantes norte y sur.

La frecuencia media de las heladas es mayor en Santa María (65 por año) que en Villa Nogués (9,3 por año); registrándose fechas extremas el 14 de agosto de 1935 y 8 de octubre de 1934, para la primera y última helada respectivamente. En Villa Nogués, más frío, la primera helada puede suceder en mayo y la última en noviembre.

La humedad relativa media tiene valores altos en Villa Nogués (entre 62 y 86 %) y bajos en Santa María (entre 43 y 64 %).

La temperatura media anual es de 13°9 C en Villa Nogués y de 16°5 C en Santa María. Las máximas absolutas son 34° C (noviembre) y 42° 5 C, para las citadas estaciones. La mínima absoluta llegó a 5° C en Villa Nogués y a 9° 2 C en Santa María.

Las lluvias totalizan 1.438 mm en Villa Nogués y 185 mm en Santa María. En Tafí del Valle (1.900 m.s.n.m.) las lluvias no llegan a 400 milímetros en el año.

El climatograma de Knoche muestra nuevamente la influencia que tiene el sistema Anconquija-Cumbres Calchaquíes en el desarrollo del clima, mientras que Villa Nogués (Sierra de San Javier) es húmedo y templado-cálido en casi todo el año, Santa María tiene un clima muy seco y cálido-templado.

C - SUELOS Y VEGETACIÓN

En el Valle de Tafí se pueden distinguir el suelo formado por el detrito del basamento que se localiza en las laderas de las sierras circundantes. La erosión de la roca madre determina un suelo suelto y fino, con cantos rodados, que cubre la parte central y sur de la cuenca. Es un suelo húmifero, fértil y apropiado para las plantaciones de árboles frutales, como ser manzanos y perales.

En la zona central de la cuenca se forma un suelo arcillo-arenoso de color amarillo rojizo, bastante plástico y resbaladizo cuando está húmedo. Los pastos tiernos tienen buen rendimiento durante el verano y es el único recurso que tiene el ganado para su subsistencia.

La vegetación silvestre en Tafí del Valle es pobre en especies arbóreas y arbustivas. Los pastos tampoco son variados, aunque se lo considere similar a un prado subalpino por su tipo de vegetación.

Los sauces y los álamos son las especies exóticas dominantes. Se ha iniciado la plantación de coníferas.

Los suelos y la vegetación de Tafí del Valle se presentan también en las mesadas de Chaquivil, San José y La Ramadita, sólo que aquí crecen en las quebradas, el aliso y la queñoa.

En la zona húmeda y baja del este se ha desarrollado un suelo húmifero muy rico, con algunas especies de la selva Tucumano-Boliviana, como ser: laurel, tipa, cedro, nogal, lapachos, etc. . . Estos árboles están cubiertos por una variedad notable de epífitas, a saber: bromeliáceas, helechos, piperáceas, etc.

En la zona de la Hoyada y Ancajuli crecen cochuchos, saucos y horcocebiles. En las partes más secas y pedregosas se destacan los cardones.

En las Cumbres Calchaquíes como en la parte alta del Anconquija crece la vegetación de Puna. Son notables los cojines de yareta y la disposición circular de las gramíneas y los pajonales.

En el valle de Santa María las precipitaciones han decrecido considerablemente en relación con la región oriental; por lo tanto, se observa una diferencia notable en la vegetación con respecto al ambiente lluvioso. Tanto en las laderas occidentales de las Cumbres Calchaquíes como en las de la sierra del Anconquija aparecen cardones, con ejemplares altos y densamente asociados, ocupando

de preferencia la zona ubicada entre los 2.000 y 3.000 m de altura. En el valle, conos de deyección y quebradas son notables el retamo, la jarilla, el algarrobo (o "árbol" por antonomasia), el arca, el molle y otros representantes del monte xerófilo.

Las características de los suelos de la zona de influencia del río Santa María y sus colectores se pueden ver en la Tabla N° 2.

Los suelos de Ampajango, por ejemplo, son suelos arenosos, sueltos; neutros o alcalinos; con materia orgánica y nitrógeno muy deficientes; con contenido calcáreo moderado; con fósforo y potasio deficientes y magnesio y calcio normales.

Próximo al río Santa María los suelos son arenosos en la superficie y limosos en el subsuelo, muy alcalinos; con deficiente materia orgánica y nitrógeno; con moderado contenido de calcáreo pero muy ricos en calcio; con fósforo regular, y potasio y magnesio normales.

D - POBLACIÓN E INDUSTRIA

La población de la villa de Santa María es de alrededor de 3.000 habitantes. Hay otras poblaciones situadas a orillas de la ruta n° 40, que corre paralela al río Santa María, a saber: Lorohuasi, San José, Palo Seco, etc. Sobre la margen izquierda del río está Fuerte Quemado, una aldea muy característica por su construcción, que se extiende a lo largo de la ruta n° 40.

Tafí del Valle es una villa esencialmente habitada durante el verano; época del año adonde concurren los residentes de la ciudad de Tucumán, que soporta un clima bochornoso.

Las condiciones de vida en el valle de Santa María son precarias, ya que no hay fuentes de trabajo estable. Recién ahora se vislumbra un mejor porvenir para los pobladores, que emigran durante la época de la zafra a los ingenios azucareros de Tucumán y Salta, con la intensificación del riego mediante el uso del agua subterránea. Las áreas cultivadas con riego superficial, que no se dispone en forma permanente durante todo el año, alcanzan a unas 2.500 hectáreas. Los cultivos de viñedos, frutales y pimiento dan origen a establecimientos industriales que elaboran vino, aguardiente, frutas desecadas y dulces y pimentón. El pimiento rinde unos 600-700 kg. por hectárea¹ y durante el año 1960 se elaboraron unas 340 toneladas de producto seco.

Las altas cumbres ofrecen características fisiográficas muy propicias para la cría de valiosas especies pelíferas, como la vicuña, guanaco, llama, chinchilla, etc., que permitirían el desarrollo de industrias.

E - MEDIOS DE COMUNICACIÓN Y TRANSPORTE

La Hoja 11c, Santa María, está cruzada por la ruta provincial n° 7 que empalma con la ruta nacional n° 38 que une la ciudad de Tucumán con la de Catamarca. La distancia que media entre la ciudad de Tucumán y el pueblo de Santa María es de unos 170 km; recorrido que se hace por la quebrada del Portugués, Tafí del Valle y Amaicha del Valle. A su vez, tiene comunicación con Salta por medio de la ruta n° 40 que recorre longitudinalmente el valle. Esta misma ruta vincula esta zona con Tinogasta, pasando por Hualfin y Belén.

Un camino provisorio fue construido entre el Simbrón y Anfama, pasando por las Juntas, cuando se realizaron los trabajos del acueducto para proveer de agua a la Ciudad Universitaria, ubicada en la cumbre de San Javier. Sería motivo de progreso para la zona que este camino se arreglara a fin de conseguir

¹ Datos suministrados por el Ing. Agrónomo Juan C. Marcer de Santa María.

un tránsito permanente. En las mesadas de Anfama, San José, La Ramadita y Chaquivil cuyos suelos son unos de los más fértiles del país, no se cultivan más verduras y hortalizas por la falta de medio de comunicación y transporte que permitan un rápido y fácil acceso hasta los centros de consumo.

Por otra parte, un camino como el indicado favorecería el turismo a esta región con paisajes comparables por su belleza y encantos a las famosas villas veraniegas de Tafí del Valle, Raco, El Alamito, etc., que dejan un recuerdo inolvidable.

F - RECURSOS DE LA REGIÓN

Es indudable que el recurso natural más importante que tiene la región considerada es el agua. Se ha visto que la región ubicada al nacimiento del Anconquiya y de las Cumbres Calchaquíes está abastecida en abundancia por las lluvias y las corrientes superficiales, que representan una riqueza potencial considerable en forma de riego y/o energía eléctrica. Es de desear que el proyecto de embalse de la cuenca del río Tafí en la Angostura se concrete en años venideros y que se aprovechen los colectores de las Cumbres Calchaquíes en usinas hidroeléctricas escalonadas.

Los recursos de agua subterránea del valle de Santa María son los recursos naturales que, racionalmente explotados, sacarán al valle de su pobreza actual.

La explotación de la selva, rica en especies arbóreas utilizables en carpintería, no se ha intensificado por falta de caminos.

En la sierra se crían majadas de ovejas, algunas llamas y en las zonas secas, cabras. Algunas zonas son particularmente aptas para la cría de ganado ovino: es el caso de la Ciénaga Amarilla, Tafí del Valle, y aquella zona que está comprendida entre los 2.500 y 4.000 metros.

Las mesadas de Chaquivil, San José, La Ciénaga Grande y Tafí del Valle son apropiadas para el pastoreo de ganado vacuno, principalmente durante el verano y otoño. Los pobladores del valle llevan su ganado a "pastaje" a las zonas mencionadas donde abunda el forraje natural, dejando la zona baja como reserva para el invierno y primavera. Son periódicos los arrees desde el valle de Santa María, Chaquivil, San José, etc.

El turismo es otro recurso que no ha alcanzado el desarrollo esperado. Las villas veraniegas de Tafí, Amaicha y Santa María no disponen de hoteles con las comodidades y el confort que exige el turista. Cuando los hay la atención o la limpieza dejan mucho que desear.

GEOLOGIA

A - ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía de la Hoja está caracterizada, como se puede apreciar en el mapa geológico, por rocas de distinta naturaleza y edad que constituyen los grupos geológicos siguientes:

- I - Basamento cristalino integrado por rocas metamórficas, plutónicas e hipabisales que cubren gran parte de la superficie de la Hoja y que predominan en la Sierra del Anconquiya, en las Cumbres Calchaquíes y en la sierra del Cajón.
- II - Una serie de formaciones sedimentarias referidas al Mesozoico alto y al Terciario superior.
- III - Rocas volcánicas, cuya aparición queda circunscripta a los reducidos afloramientos ubicados entre el cerro El Zarzo y el Alto de Muñoz de la sierra del Anconquiya.
- IV - Los depósitos aluvionales del Cuartario que rellenan el valle de Santa María y el valle de Tafi.

Sobre el basamento precámbrico se apoyan en discordancia angular la Formación Las Cañas, en el borde oriental de las Cumbres Calchaquíes, y la Formación Yacomisqui en la ladera occidental de la elevación citada (Hoja 10e, Cafayate) y en el extremo norte de la sierra del Anconquiya, frente al río Amachai. Como no se tiene seguridad de que estos sedimentos corresponden a una misma formación geológica, es la razón por la cual se los ha separado en dos formaciones; pero probablemente correspondan a un mismo ciclo sedimentario ubicado en el Cretácico.

La Formación Yacomisqui, nombre propuesto por Galván y Ruiz Huidobro (4, pág. 2), está desconectada de las formaciones que integran al Grupo Santa María, referidas en el trabajo citado al Terciario superior.

En el cuadro estatigráfico de la tabla siguiente se resume la constitución geológica de la Hoja.

1. PRECÁMBRICO

Basamento cristalino

La sierra del Anconquiya, las Cumbres Calchaquíes y la Sierra del Cajón están constituidas casi totalmente por rocas metamórficas, ígneas intrusivas y rocas de mezcla (migmatitas) producto de la inyección magmática. Estas últimas rocas son las más abundantes. Los cuerpos intrusivos van desde el tamaño de "stock" hasta filones pequeños, estos últimos directamente asociados con la inyección magmática y probablemente son las responsables de la migmatización de la roca de caja.

Como no es seguro separar en formaciones el complejo del Basamento se ha preferido describirlo teniendo en cuenta el concepto petrográfico.

Cuadro Estratigráfico

	Formación	Litología	Espesor (en m.)	
CUARTARIO	Las Mojarras	Depósitos arenosos, loésicos, etc., poco disectados.	7	
	Caspichango	Depósitos de acarreo, fanglomerádicos.	10	
	Las Salinas	Depósitos de acarreo, fanglomerádicos, terrazados.	20?	
	La Mesada	Depósitos de acarreo, fanglomerádicos, terrazados.	30	
Discordancia				
TERCIARIO	GRUPO SANTA MARIA	Zanja del Molle	Conglomerados de rocas volcánicas graníticas y metamórficas.	600
		Los corrales	Conglomerados de rocas volcánicas.	100-120
		Yasyamayo	Limos, calcarenitas, etc., con <i>Corbicula</i> sp. y gasterópodos.	80?
		Andalhuala	Areniscas, limos, etc., con cineritas. Mamíferos fósiles.	1.200
		Las Arcas	Conglomerados finos, areniscas, etc., rojo ladrillo.	650
		Lorohuasi	Areniscas, limos, etc., gris verdosa. Restos vegetales.	400
		San José	Arcillitas, margas, etc., con <i>Corbicula</i> sp. y restos vegetales.	200-250
		Saladillo	Areniscas, limos, etc., de color gris rosado.	40
Discordancia				
CRETACICO?	Yacomisquí	Limolitas, arcillitas, areniscas y conglomerados brechosos, calcáreos; yesíferos y con manganeso; colores: gris, verde, pardo rojizo y amarillento.	500?	
	Las Cañas			
Discordancia				
PRECAMBRICO	Basamento	Rocas leucocráticas. Cuerpos graníticos. Cuerpos graníticos migmatíticos sintectónicos.		
	Cristalino	Rocas magmática-metamórficas (migmatitas, etcétera). Filitas cuarzo-micáceas, filitas bandeadas; micacitas graníferas, etc. Calizas.		

a) *Rocas metamórficas*

Las rocas metamórficas son poco variadas. Predominan las filitas sobre las micacitas.

El complejo metamórfico está compuesto, principalmente por filitas y en menor proporción por micacitas. El aporte magmático, muy probablemente de origen pegmatítico, ha determinado una serie de tipos dentro de estas dos rocas clásicas.

Los distintos tipos de rocas esquistosas que se han estudiado en la Hoja son: a) Micacitas biotítico-muscovíticas; b) Filitas cuarzosas biotíticas y c) Filitas cuarzosas bandeadas.

Las micacitas granatíferas aparecen en el flanco occidental de la sierra del Anconquiya desde el Morro del Zarzo, borde sur de la Hoja, hasta el puesto Yutuyaco. La proporción de granate es mayor en la zona del Morro Nuñorco de San Juan, del Morro de Bernardo y del Morro del Zarzo. Las micacitas, además, están inyectadas; destacándose el cuarzo y el feldespato que se presenta, por lo general, de color blanquecino. La inyección es tan intensa que en muy pocas zonas es posible reconocer la textura original de la roca, por lo que resulta difícil clasificarlas. La inyección es particularmente notable en el río Blanco, quebradas Piedra Pintada y Honda y ladera austral del Alto de Muñoz.

Las filitas cuarzosas biotíticas es el tipo predominante. Forman todo el grupo de cerros, sierras y elevaciones menores de las Cumbres Calchaquíes, que cubren el tercio oriental de la Hoja, ubicado al naciente de la línea estructural Amaicha; Tafi del Valle, El Mollar, que separa este ambiente del grupo de la Sierra del Anconquiya. En esta zona también están presentes las filitas bandeadas, aunque ocupan un área reducida dentro del conjunto.

En la sierra del Cajón, zona septentrional de la Hoja, hay filitas cuarzosas micáceas de color pardo oscuro. La estructura esquistosa está determinada por la orientación de la mica. Al microscopio se observan bandas producidas por la asociación de blastos de cuarzo de distinto tamaño.

En la zona central y sur de la sierra del Cajón se observan filitas cuarzo micáceas de color gris verdoso con planos de esquistosidad bien marcados. Los planos de exfoliación presentan el brillo característico de la mica. Las superficies de exfoliación muestran una concentración de este mineral mucho mayor que la promedial de la roca, donde el cuarzo es el dominante.

*Sierra del Anconquiya.**Falda occidental*

En la falda occidental de la sierra del Anconquiya predominan micacitas biotíticas y/o muscovíticas que por lo general están muy inyectadas. La presencia de granate en las micacitas es característica para esta área, predominando en la zona de los morros Nuñorco de San Juan y de Bernardo, y Alto de Runiarco. La concentración de granate disminuye hacia el Puesto Los Ciegos y Morro los Zarzos, en el sur; y hacia el puesto de Piedra Pintada (límite Tucumán-Catamarca), en el este.

El granate es muy abundante en esta área y no siempre es reconocible a simple vista. Presenta su color rojo característico, de contornos subidiomorfos y textura cribosa. Los cristales están asociados a la mica, que los incluye en forma de nidos. En el puesto Flores Amarillas, unos 3 km al norte del puesto Quebradero, las cuarcitas granatíferas presentan esquistosidad bien marcada. El rumbo de la esquistosidad es 50° O y el buzamiento es hacia el sudoeste. La inyección es de cuarzo y feldespato potásico. Diques pegmatíticos cruzan las micacitas en puesto Quebradero con rumbo 20° O.

En el faldeo occidental del morro de los Venados sobresalen, del acarreo de rocas volcánicas, crestones de micacitas inyectadas de R 15° O. Próximo a las Cuevas se observa un dique lamprofirico (hornblendita? muestra n^o 7).

Falda Oriental

En el nacimiento de las quebradas que bajan al Campo de las Carreras próximo a El Mollar, las micacitas están muy inyectadas (migmatitas), siendo el aporte pegmatítico rico en feldespato potásico y mica. Los filones de pegmatita son más abundantes a medida que se descende hacia el valle y particularmente notables en la mitad de la ladera oriental, conjuntamente con filones de granito gris, que predominan en la quebrada del río Blanco. Las micacitas presentan también inyección nodular de feldespato blanquecino cruzado por venitas de hasta 2 cm de ancho de una asociación de cuarzo y turmalina.

En la Ciénaga Grande, al norte de cerro Muñoz se ha observado un filón pegmatítico que cruza a un filón de granito gris con rumbo 20° hacia el este. Los filones de pegmatita son notables en la quebrada Piedra Pintada y por lo común son paralelas a la esquistosidad de la roca de caja, de rumbo $N 5^\circ$ y buzamiento hacia el naciente.

Las mismas características presenta la sierra en todo su extremo norte desde el Campo de Muchela, donde la facies de granate se comienza a insinuar, hasta Macho Huañusca, lugar donde pasa una de las fracturas principales que separan la sierra del Anconquija de las Cumbres Calchaquíes.

Las micacitas son por lo general biotíticas, sin embargo presentan abundante muscovita en aquellas zonas donde hay intrusiones graníticas y pegmatíticas. La presencia de muscovita está indudablemente vinculada con estas intrusiones y es debida a un proceso de metasomatismo con soluciones ricas en potasio. Poseen una esquistosidad bien marcada y estructura de corrugamiento (pseudo ondulitas) en aquellas zonas donde predomina la inyección que, como se puede observar en las fotografías de la lámina, son de tipo lit-par-lit, nodular o difusa.

Cumbres Calchaquíes

En las Cumbres Calchaquíes, así como también en la zona del cerro Nuñorco, predominan las filitas, cuarzosas y/o micáceas, que en ciertas áreas presentan un bandeo característico (los esquistos listados de Rassmuss). Este tipo litológico, estudiado por González Bonorino en las Hojas 12 c, Anconquija (6) y 13 e, Villa Alberdi (5) es muy característico en la zona alta de las Cumbres Calchaquíes, cerro Alazán, lagunas de las Amaicheñas y de Vaca Huasi, puestos El Pelado y del Zarzo y Ciénaga Amarilla. Además se destacan en la falda occidental de la cumbre de Tafí del Valle (Los Cuartos) hasta La Angostura.

En la cañada del Alazán y en el cerro Negrito afloran micacitas finas, biotíticas, con abundante cuarzo y feldespato y con estructura bandeada que es notable a simple vista.

En la ladera occidental del cerro Alto Grande, próximo al puesto de Pedro Díaz, aflora un esquisto con abundante biotita, cuarzo y feldespato, y con porfiroblastos de sillimanita, que se presenta en forma de nódulos brillantes y agregados fibrosos de color blanquecino y brillo nacarado característico.

En el ambiente de las Cumbres Calchaquíes podemos distinguir regiones con características algo diferentes, por lo que la trataremos en forma individual.

Area de la Cumbre y faldas occidental y oriental.

En la cañada del Alazán, que baja del Negrito al Infiernillo, afloran esquistos cuarzo-micáceos bandeados. El bandeo es muy uniforme, y en algunas muestras las bandas de biotita están separadas hasta 1 cm (lámina 7, figura 1).

Esta roca es la que Stelzner denominó mica esquistos listados, nombre que adoptó Rassmuss considerándola como característica de la región situada entre Monteros y Tafí del Valle (10, pág. 49).

El espesor del bandeado es por lo general de 2 y 3 mm. Sin embargo es muy variable según las bandas sean cuarzosas o biotíticas. Las bandas biotíticas poseen una proporción de biotita que puede llegar hasta el 70 % según González Bonorino (4, pág. 18).

La composición mineralógica de esta roca es: cuarzo y mica, como predominantes. El feldespato (plagioclasa ácida) cuando está presente, alcanza un porcentaje muy reducido.

En una muestra extraída de la falda occidental del Alto de los Cardones se nota al microscopio una sucesión en el bandeamiento producido por el diferente tamaño de los blastos de cuarzo, que alternan de décimas de milímetros hasta 1,5 milímetros, aproximadamente. A la parte más menuda de las fajas cuarzosas se asocian hojuelas de mica orientadas como el cuarzo. Esta disposición de la mica comunica a la roca una esquistosidad marcada, que es transversal en la estratificación original de la roca. Esto último ha sido también advertido por González Bonorino en la sierra del Anconquiya sur (6, pág. 18), quien puntualiza que la esquistosidad transversal está mejor desarrollada donde la deformación de los esquistos ha sido más intensa.

En la zona de las Lagunas de Vaca Huasi y de las Amaicheñas las filitas bandeadas están invadidas por cuarzo, cuya superficie está teñida de rojo.

En la zona de la Ciénaga Amarilla y río del Pajonal, al norte de la Hoja, afloran las filitas bandeadas ya descriptas para otras zonas.

En las zonas de las Cañas, Chaquivil y La Hoyada, es decir la zona noreste, afloran esquistos menos inyectados que las áreas descriptas anteriormente.

Si bien está el "stock" granítico de Chaquivil, de tamaño considerable, la roca de caja ha sido poco modificada por esta intrusión, por lo que conserva sus caracteres originales.

Las rocas son filitas sericiticas y cuarzosas, que alternan con pizarras de color gris, verdoso y amarillento. La esquistosidad es bien marcada y el bandado más bien fino en esta área.

El aporte de cuarzo disminuye hacia esta zona, donde no hay intrusiones graníticas en cuerpos pequeños como sucede en la zona alta de las Cumbres Calchaquíes.

En algunas áreas los esquistos se presentan con escasa inyección o sin ella (Las Cañas, San José, La Hoyada) y con estructura astillosa, que recuerda a las filitas y pizarras de la sierra de San Javier y del basamento salteño. Área del cerro Nuñorco Grande y del sudeste de la Hoja.

En el cerro Nuñorco Grande un cuerpo granítico está intruido en las filitas cuarzosas con venas cuarzo-feldespáticas ("arteritas" de Rassmuss). La roca de caja es similar a la que se puede ver en la quebrada de los Sosas o río de la Angostura. Por partes la filita es muy micácea, biotítica; y las láminas de la biotita son de mayor tamaño que el resto de los componentes.

Entre Durazos Blancos y la Casita afloran las filitas cuarzosas, sólo que presentan una mayor inyección granítica. En esta misma zona, en las quebradas de Caspinchango, Cañas Horcones y Los Chorros están presentes las filitas cuarzosas biotíticas con estructura algo bandeada, pero no tan marcada como en la Angostura. Las rocas que se describen han sido intruidas por cuemplos de granodioritas y granito aplítico.

Sierra del Cajón

Esta unidad-morfo estructural tiene una composición litológica uniforme en toda su extensión, salvo pequeñas variaciones debidas al mayor o menor aporte ígneo. Los primeros afloramientos de basamento en la boca de la quebrada del Sapo están en la cota 2.500 m. Son filitas micácicas de color gris verdoso con planos de esquistosidad bien marcados. Un rasgo característico en esta sierra es

la presencia de filones concordantes de pegmatita rica en feldespato rosado, pero sin mica y con turmalina como mineral accesorio.

A cota 2.800 y 3.100 las filitas están inyectadas por cuarzo, que se dispone en venas paralelas a la esquistosidad.

Estas mismas filitas muscovíticas, de color gris verdoso que carecen relativamente de inyección ígnea, salvo algunas venas de cuarzo y de los filones pegmatíticos —notables en las faldas oriental y occidental de la sierra— son las que afloran en la parte alta de la sierra, en la quebrada de Cashuan (cota 3.440) y sobre la cumbre, hasta el Morro del Iral, donde se observan numerosos cuerpos de pegmatita con mica y turmalina. En la quebrada de Lanchi, desde su nacimiento en el abra de Casas Viejas hasta la boca de la quebrada (cota 2.400), afloran filitas biotíticas (¿cloríticas?) de color gris o violáceo. En la falda oriental, a igual cota que en la quebrada del Sapo, los filones de pegmatita son notables.

En la falda oriental del extremo norte de la sierra del Cajón, afloran micacitas filíticas, con sus planos de esquistosidad casi horizontales y a menudo ocupado por filones capas de pegmatita, ricos en cuarzo y feldespato blanco, y como siempre, con turmalina.

En la mitad de la falda oriental el tamaño del grano disminuye hasta dar una filita micacítica cuarzosa que está muy inyectada por cuarzo, con venas paralelas a la esquistosidad (tipo "lit-par-lit"). Más hacia arriba, próximo a la cumbre, la inyección se presenta en forma nodular, con metacrystales de feldespato blanco (oligoclasa) que se disponen en rosario paralelos a la esquistosidad.

Como hemos indicado el color predominante de estas rocas es gris verdoso en fractura fresca. Además, los planos de exfoliación son brillantes por la presencia de la mica, que está orientada. El tamaño de las laminillas está entre 1 mm y 0,2 mm predominando las de medio milímetro. Los planos de esquistosidad son por lo general rectos. De las micas, la más representativa es la biotita. La muscovita en menor proporción, por lo general se presenta alternando con biotita y entre los granos de cuarzo, mineral que, aunque no parezca, es el dominante en la roca. Muchas veces la roca presenta áreas en forma de bandas producidas por los blastos de cuarzo que se presentan asociados en individuos de diferente tamaño. En la muestra n° 94 (ver Apéndice) el cuarzo forma un agregado microblástico con ensamblamiento de individuos mayores; no advirtiéndose extinciones ondulares intensas.

El feldespato es exclusivamente *oligoclasa* que se presenta en individuos tabulares, de tamaño similar al cuarzo. La proporción de oligoclasa, que por otra parte, se acomoda según la disposición del cuarzo, es relativamente baja.

En las muestras estudiadas al microscopio se han encontrado como accesorios escasos, apatita y óxido de hierro (magnetita).

b) Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas que afloran en la Hoja pertenecen casi exclusivamente al grupo de las rocas ácidas, cuyos representantes más conspicuos son granitos y pegmatitas. Hay algunos diques lamprofíricos y de basalto en la Sierra del Anconquija, borde sur de la Hoja. Las rocas graníticas se presentan, generalmente, como cuerpos alargados y de poco espesor, concordantes con el complejo metamórfico. Hay, sin embargo, cuerpos de mayor tamaño como el granito de Chaquivil y cuerpos que se extienden en una sola línea, como si fueran apófisis de un cuerpo más grande, ubicado en profundidad, desde el C° Pabellón hasta más allá de la Ciénaga Amarilla (Cumbres Calchaquíes). Otro cuerpo similar en tamaño, a los que afloran en las Cumbres Calchaquíes, es el del cerro Nuñorco Grande y su prolongación norte en la Loma Pelada, y el cuerpo grano-

diorítico en la confluencia de los ríos Caspirichengo y los Chorros, ubicado en el esquinero sudeste de la Hoja. Finalmente, en toda la sierra del Cajón tenemos un solo cuerpo de unos 5 km de longitud, ubicado en Los Tres Cerritos, frente a la localidad de El Desmonte.

El Granito de Chaquivil

El stock granítico de Chaquivil es el más grande de la Hoja. Se presenta como un cuerpo discordante con la roca de caja, que es una filita cuarzosa de color gris amarillento. Este cuerpo tiene 14 km en sentido NE-SO y unos 5 km en su parte más ancha, al norte de Chaquivil. Es un granito adamellítico de color gris de grano mediano a grueso. A veces presenta un ligero tono violáceo dado por el cuarzo. El microclino y la oligoclasa muestran similitud en su proporción; el cuarzo se presenta con sus caracteres habituales y sin anomalías ópticas, pero de menor tamaño que el feldespato.

En las zonas marginales del granito así como también dentro de él, existen una gran cantidad de diques de rocas leucráticas o diásquistas, de texturas y composición variables. Son particularmente notables estos diques en el borde oeste y sur del cuerpo granítico, principalmente entre el río Cachiquivil y el puesto La Ciénaga. La composición es cuarzo y microclino, principalmente; poca albita y muscovita; turmalina es el mineral accesorio más común; berilo, excepcionalmente (río Duraznillo, Anfama, río la Queñoa, etc.).

Algunos individuos de feldespato tienen un tamaño de 5-7 mm. La biotita distribuida en forma irregular o en concentraciones entre los otros componentes. En conjunto la roca de la zona de Chaquivil presenta una muy ligera alineación. Aquí se trata de una tonalita.

Los cuerpos graníticos de las Cumbres Calchaquíes

En la parte elevada de las Cumbres Calchaquíes desde el cerro Pabellón, frente a Tafí del Valle, hasta la Ciénaga Amarilla, al norte de la Hoja, afloran un serie de cuerpos lenticulares de composición esencialmente granítica, separados por paquetes de esquistos. Estos cuerpos presentan una foliación paralela al rumbo de los esquistos.

En el faldeo oriental del cerro Negro se estudió un cuerpo de una roca porfiroide que en un principio se clasificó como granito, pero que resultó una granodiorita, es decir una roca con textura granosa panalotriomorfa con áreas netamente gnésicas. Se destacan porfiroblastos de feldespato potásico (microclino), de color blanquecino, que alcanzan un promedio de 2-3 cm de longitud (Lámina VI, 2). Este componente potásico está subordinado a la plagioclasa (oligoclasa) de hábito tabular y superficie límpida o débilmente alterada en hidromuscovita. El cuarzo, por su proporción, es el componente de mayor difusión. La relación microclino: oligoclasa es variable. Así tenemos que en el cuerpo de La Queñoa (Peñas Azules) el componente más representativo por su proporción y desarrollo es el microclino, estando restringida la oligoclasa con respecto a él (muestra nº 91).

En el cerro Pabellón aflora el mismo tipo de intrusión descripta; es decir una granodiorita porfiroide, biotítica, con porfiroblastos de feldespato rosado.

El límite oriental de uno de los cuerpos, posiblemente el mayor pasa por el puesto de la Ciénaga Amarilla notándose que la roca ha sido invadida por material ígneo en un ancho de un kilómetro.

Estos cuerpos lenticulares, que tienen más relación con los procesos de metamorfismo que con los ígneos, pueden ser considerados como los responsables de la migmatización de la roca de caja (Lámina V).

Granito del cerro Nuñorco Grande y Loma Pelada

El granito del cerro Nuñorco y su prolongación norte en la Loma Pelada o el Alto, es un granito muscovítico de grano fino a mediano, equigranular y de color gris.

Sus componentes esenciales son cuarzo, feldespato potásico (microlino), oligoclasa y muscovita, como accesorio hay granate.

En La Angostura hay cuerpos lenticulares de granodiorita de color gris rosado, biotítica; de grano grueso a porfiroide. Estructuralmente la muestra nº 48 mantiene los mismos caracteres que el granito de Chaquivil, sólo que hay un incremento de la plagioclasa (oligoclasa) con relación al microclino. Como productos secundarios, además de la descomposición arcillosa-sericítica, hay epidoto.

Aguas abajo de la Angostura, a cota 1.180, hay un cuerpo lenticular de una roca intrusiva de color gris, porfiroide, rica en biotita, que se presenta en láminas de tamaño mayor. Los otros constituyentes principales son cuarzo y oligoclasa, por lo que la roca ha sido clasificada como *tonalita*. La roca tiene una textura granosa paratritomorfa, parcialmente cataclástica. El cuarzo muestra como principal característica una fuerte extinción ondulada y constituye áreas bastante extensas con estructura cataclástica pavimentosa. Los caracteres señalados en el cuarzo que están ausentes en los feldespatos y mica, pueden ser atribuidos a penetraciones silíceas de tipo migmatítico. El carácter migmatítico se acentúa en un cuerpo lenticular de La Aguadita, próximo al Campo de Las Carreras, donde se puede observar una foliación marcada debido a la distribución de la mica. La estructura gnéisica es notable a simple vista.

En la confluencia del río Los Chorros con el río Caspichango aflora un cuerpo de unos 4 km de ancho clasificado como granodiorita (muestra nº 105). En esta roca la plagioclasa está totalmente reemplazada por sericita. El cuarzo es abundante; si bien fracturado, no presenta signos de haber sufrido presiones elevadas. El microclino se presenta fresco y en menor proporción que la plagioclasa. En esta misma zona hay cuerpos más pequeños de un granito aplítico, probablemente producto de las facies aplíticas. Este granito se diferencia de los anteriormente descritos por el tamaño reducido de sus componentes. Se trata de un granito equigranular con muscovita y sin biotita; y con estructura granosa paratritomorfa de grano fino.

c) Las calizas cristalinas de las Cumbres Calchaquíes

La primera noticia acerca de la existencia de calizas cristalinas en las Cumbres Calchaquíes corresponde a Danielli.¹

Los afloramientos de caliza cristalina se encuentran en el faldeo oriental de las Cumbres Calchaquíes, más precisamente en el cerro Alto de la Mina y en el morro Peñas Azules, al noroeste del puesto La Queñoa. El depósito de Peñas Azules, que ha sido reconocido con más detenimiento, se presenta como un manto con buzamiento hacia el este, con un valor de inclinación de 30°. En conjunto la roca presenta un color gris, algo azulado, debido a la meteorización superficial y a la presencia de películas de líquenes (Lám. XIV, fig. 2 y 3). Las calizas presentan estructura granosa, más bien gruesa; y son por lo general, de color blanquecino, aunque se ha comprobado la presencia de caliza negra de grano fino y estructura finamente bandeada. Como mineral accesorio se reconoce macroscópicamente grafito; algo de pirita y limonita.

Al microscopio es posible reconocer, además de grafito, limonita y pirita, silice, anfíbol y/o piroxeno. Al golpearlas con el martillo algunas muestras despiden un olor fétido, característico.

¹ Danielli, C. A. Noticia preliminar sobre el hallazgo de un yacimiento de caliza cristalina en la Pcia. de Tucumán. Int. Miguel Lillo, Acta Geológica Lilloana, IV (en prensa, 1963).

La caliza de Peñas Azules se presenta como un cuerpo concordante con la roca de caja, que aquí es un granito migmatítico (gnéisico) que aflora en la cumbre y en todo el faldeo occidental. Está intruida por filones de pegmatita turmalinífera, que a veces presenta nidos de berilo.

Las calizas están muy diaclasas y muestran los efectos de una prolongada denudación.

En la ladera oriental las calizas tienen rumbo N 30°E e inclinación 30° E; mientras que en el faldeo austral, sobre la senda que va a los Valles, el rumbo es N 60°-80° E y buzamiento hacia el sur.

El depósito de cerro Alto de la Mina está ubicado en las nacientes del valle de la Cañada de la Mina, y se presenta según los estudios de Danieli, "como un impresionante semicírculo con un diámetro que alcanza aproximadamente 1 km y un desnivel vertical de unos 100 metros". Hacia el norte se mantiene visible hasta unos 500 m, no conociéndose su límite, pues no fue posible en aquella oportunidad reconocerlo totalmente.

En Peñas Azules se ha estimado que el cuerpo calizo tiene una longitud de unos dos kilómetros, un ancho de 1.000 a 1.500 metros y un espesor de unos 50 metros, por lo menos en su extremo septentrional. Las reservas visibles de este yacimiento estarían en el orden de los 250 millones de toneladas, después de descartar un 25 % correspondiente al material estéril.

d) *Rocas hipabisales* (pegmatitas, aplitas, filones de cuarzo, etc.)

En casi toda el área de la Hoja 11c, Santa María, con excepción del área con cubierta sedimentaria existen un número relativamente considerable de diques de rocas hipabisales de textura variable pero composición más o menos similar. Son particularmente notables en la sierra del Cajón, en las Cumbres Calchaqués y en la ladera oriental y norte del cerro Alto de Muñoz. La mayoría de los diques son de pegmatita turmalinífera, rica en cuarzo y en microclino de color gris blanquecino o rosado.

a) En la sierra del Cajón los diques de pegmatita son muy abundantes, principalmente en las laderas oriental y occidental, donde son concordantes con la esquistosidad de las filitas micácicas.

En la quebrada del Sapo hay filones de pegmatita con feldespato rosado, donde la cota marca 2.350. En cotas 2.780 y 2.800 afloran filones pegmatíticos ricos en feldespato de color gris blanquecino (microclino) con rumbo N 15° O e inclinación de 60° hacia el oeste. En Campeadero y Zarcillo (cota 3.650) hay filones de 2-3 metros de potencia y de más de 200 metros de largo, con rumbo N 30° O. En el morro del Iral, filones de pegmatita (con mica) y de cuarzo. En el cerro Trampeadero, próximo a Casas Viejas, filón de cuarzo con rumbo N 5° O. En la quebrada de Lanchi filones de cuarzo cuyo rumbo es N 45° O (cota 3.500) y de pegmatita con feldespato rosado (cota 2.400).

En el extremo norte de la sierra de Cajón, en la quebrada de los Chañares, hay filones de pegmatita, concordantes con la foliación de las micacitas y con planos subhorizontales (inclinan 5-10° hacia el sur). La composición mineralógica de esta pegmatita es como todas las de esta zona, es decir son ricas en turmalina; el feldespato es de color gris blanquecino; el cuarzo abundante y la mica se presenta en pequeñas escamas y subordinada a los otros componentes esenciales.

b) La sierra del Anconquiija presenta una serie de diques de rocas leucocráticas, muchos de ellos vinculados directamente con la migmatización de los esquistos. Los filones de pegmatita son notables en el faldeo oriental de la sierra, entre el río Blanco y el río de las Animas. Los diques más abundantes son los de pegmatita con cuarzo, feldespato rosado y turmalina. En algunos casos

el cuerpo pegmatítico tiene "nidos" de mica que podrían ser explotados (puesto La Peña, cerro Zarzo, Los Huecos, cerro Muñoz, etc.). En los morros de Bernardo, San Juan y Rumiarco las pegmatitas tienen como accesorio, además de la infaltable turmalina, granate.

Algunos filones de pegmatita alcanzan una potencia de 4-5 metros; pero su espesor más corriente es de 0,50 a 1,5 metros.

En un filón potente de pegmatita, que cruza el cauce del arroyo Puerta de Díaz, próximo a su desembocadura con el río Amaicha y a los Zuritas, se ha encontrado berilo. Este filón tiene una longitud de 150 metros y un espesor de 6 metros, e intruye a una micacita. En la quebrada del río Blanco, muchos de los filones son facies de grano fino de la pegmatita; son granitos leucocráticos de grano irregular, de color gris, que están relacionados con las migmatitas de esta zona.

En los Huecos, próximo al portezuelo de las Animas, hay un filón de unos 300 metros de largo por 3-4 metros de ancho, de una roca oscura que ha sido clasificada como hornblendita (muestra nº 7). En esta misma zona hay otro dique de basalto cuya descripción puede verse en el apéndice.

c) En las Cumbres Calchaquies (cañada de Alazán, cerro Negrito, Peñas Azules, ríos Chaquivil, Liquimayo, y de la Queñoa, etc.), hay una serie de diques pegmatíticos que alternan con cuerpos más pequeños, concordantes, de naturaleza granítica, con textura y composición variables. Estos diques se encuentran en muchas partes, pero preferentemente localizadas en el borde occidental y sur del stock de Chaquivil. La composición mineralógica es la misma de los diques descritos más arriba, ricos en turmalina. También se ha encontrado berilo en filones de los puestos de la Lonja y del Portezuelo y en Peñas Azules. En Peñas Azules y C° La Mina los filones de pegmatita cruzan las calizas cristalinas.

c) Zonas de Migmatización

Las rocas metamórficas que se han descrito están inyectadas, en mayor o menor grado; por material magmático. En algunas zonas la penetración ha sido tan elevada, que la textura y composición de la roca original no es posible de reconocer. Esta roca de mezcla, cuando el aporte ígneo alcanza un porcentaje elevado, es conocida con el nombre de migmatita. Algunos autores se han ocupado de los procesos que han dado lugar a la formación de rocas de mezcla. Detalles acerca de la naturaleza de la inyección, composición y origen de las soluciones, así como también de la naturaleza física y mecanismo de aquella, han sido dados por González Bonoriño con la publicación correspondiente a la descripción geológica de la Hoja 13c, Villa Alberdi (5).

a) La sierra del Cajón está caracterizada por tener una gran cantidad de filones capa pegmatíticos. Es por lo tanto notable la intervención de soluciones pegmatíticas en los procesos de migmatización. Entre los planos de esquistosidad de las filitas cuarzosas se alojan una serie de estos filones, muchos de ellos de cuarzo solamente. La composición de las rocas es esencialmente la misma de los filones pegmatíticos; predominando el cuarzo sobre los demás componentes. No obstante ser el microclino de color blanquecino, el mineral que abunda en las pegmatitas, su presencia en las venas es subordinada al cuarzo.

El tipo de inyección dominante es la *inyección difusa*, que si bien no es perceptible a simple vista se puede reconocer por qué las filitas pierden parte de su esquistosidad (y su estructura astillosa) original, y adquieren una mayor dureza. En el perfil de la quebrada de los Chañares la inyección de cuarzo ha seguido líneas paralelas a la esquistosidad de la filita cuarzosa, micácea, determinando un bandeo característico, más o menos uniforme que da como re-

sultado la típica textura *lit-par-lit* o arterítica. En esta misma zona la inyección de las filitas cuarzosas micáceas, se presenta en forma de *inyección nodular*; que aquí consiste en cristales de feldespato blanco, de forma oval, alineados en los planos de esquistosidad. Por lo general, en la sierra del Cajón las venas son concordantes con los planos de esquistosidad de la roca de caja; carácter que se acentúa en los filones de pegmatita.

b) Los procesos vinculados a la inyección magmática en la sierra de Anconquija, alcanzan su máxima intensidad en la falda occidental de la sierra, precisamente en el área donde hay una serie de intrusiones graníticas y pegmatíticas.

En el puesto de las Flores Amarillas (falda occidental) las micacitas granatíferas están inyectadas por cuarzo y feldespato potásico; que se presenta de mayor tamaño que aquél. La inyección laminar y/o en capas más o menos paralelas, rectilíneas o curvas, donde el material magmático y el metamórfico están en todas las relaciones posibles, es la más común en la zona. Se la observa en muchas áreas de la sierra del Anconquija, principalmente en el puesto Quebradero, Peñas Negras, cerro el Zarzo y los Huecos; lugares ubicados en el faldeo occidental y cumbre de la Sierra. En los Huecos las filitas y micacitas están inyectadas por cuarzo, a veces de tono rosado, y feldespato potásico rosado. minerales que siguen los planos de esquistosidad determinando el tipo de inyección *lit-par-lit*; cristales aislados de feldespato determinan el tipo de *inyección nodular* (Lám. VIII y IX).

En la quebrada de Caspinchango, ladera occidental de la sierra de Anconquija, se ha visto que hay esquistos granatíferos inyectados. La inyección, vista al microscopio en la muestra nº 36, es oligoclásica-cuarzosa, siguiendo los planos de esquistosidad originados por la orientación de la mica. El cuarzo y la oligoclasa son muy abundantes y representan el 80 % del total de la preparación; el primero es típicamente xenomorfo, parcialmente fracturado y recrystalizado en individuos más pequeños. Por otra parte, el cuarzo del esquisto es más grande y más escaso con relación al foráneo.

En la quebrada del río Blanco los fenómenos de inyección son debidos a filones de granito gris, que a veces son atravesados por diques de pegmatita. Las migmatitas en esta zona son el resultado de la inyección en filitas y micacitas finas, de rumbo noroeste. Esta faja migmatítica, que se extiende desde el sur de la Hoja, llega hasta el campo de Muchela, al oeste del cerro Muñoz; donde se ponen en contacto con las micacitas granatíferas del oeste.

Como ejemplo de inyección difusa, tenemos la muestra de migmatita de El Molle (camino a Amaicha del Valle). Vista al microscopio se nota que la muestra ha sufrido una intensa inyección en forma difusa de cuarzo y oligoclasa. minerales que constituyen el 90 % del preparado. El cuarzo, que es de menor tamaño que la plagioclasa, con frecuencia está "incrustado" en este componente, o intercalado como individuos recrystalizados. También se lo observa al cuarzo con contornos subredondeados incluidos en la plagioclasa (muestra nº 33).

c) En las Cumbres Calchaquíes hay fajas de migmatización que están localizadas en la cumbre desde la cañada del Alazán hasta más allá de la Ciénaga Amarilla. En la cañada del Alazán próximo al cerro Negrito, tenemos buenos ejemplos de inyección nodular y venosa, que pasa a lenticular y "en camadas", o a una forma particular que las hace parecer al "gneiss de ojos".

En la inyección nodular de las micacitas finas de la cañada del Alazán se han desarrollado metasomas de oligoclasa más bien idiomorfas, de un tamaño de 5 a 2 cm, que están relacionados con venas de la misma composición; que, por otra parte, siguen los planos de esquistosidad de la roca (Lám. VII, fig. 1) por espesamiento y anastomosamiento de venas que siguen caminos tortuosos, la roca adquiere una textura particular como se puede ver en la Lámina VII, figura

2. Estas venas blanquecinas son ricas en oligoclasa y microclino. Entre las lagunas de las Amaicheñas y de Vacahuasi los esquistos cuarzosos bandeados de esta zona están penetrados por venas de cuarzo rojizo, que siguen caminos variables; a veces, según los planos de esquistosidad, en otros casos transversales a ellos; o bien formando pliegues en un trazado sinuoso (pliegues ptigmáticos). También se han observado "reventones" de cuarzo lechoso próximo al cerro Negrito.

El cuerpo intrusivo de la Ciénaga Amarilla, similar al rosario de cuerpos se extiende desde el cerro Negrito hasta el borde septentrional de la Hoja, ha inyectado a los esquistos cuarzo micáceos, bandeados, en un ancho de un kilómetro aproximadamente. Los efectos de la inyección son notables en el borde oriental del cuerpo.

Entre los puestos de la Lonja y el Portezuelo, al sur del stock de Chaquivil hay una serie de cuerpos lenticulares de granito de color gris, es una facie de grano mediano a fino, que ha invadido la roca de caja determinando otra área de migmatización, que se extiende hasta la Queñoa (morro de las Peñas Azules), donde afloran otra serie de cuerpos lenticulares que llegan hasta 50 metros de largo, de un granito de grano fino, cuyo componente más representativo, por su proporción y desarrollo, es el microclino. Próximo al cuerpo granítico de Chaquivil hay una faja de migmatitas.

Otra zona donde la migmatización tiene una cierta importancia es en la falda occidental de la Cumbre de Tafi hasta la Angostura. Entre Durazos Blancos y La Casita se observa una mayor penetración granítica, donde la filita cuarzosa bandeadada ha pasado a ser una migmatita aunque conserva todavía su textura original. Los granitos migmatíticos de esta zona son de grano muy fino y foliados; en algunas áreas están asociados con tonalitas (muestra nº 58) y granitos aplíticos (muestra nº 98, del Apéndice).

2. MESOZOICO

II - Cubierta sedimentaria

Las rocas sedimentarias están representadas por un conjunto de formaciones mesozoicas, terciarias y cuaternarias que ocupan principalmente las depresiones estructurales correspondientes a los valles de Santa María y de Tafi, y las de los ríos de las Cañas y de Anfama.

Los nombres de estas formaciones han sido propuestos por Galván y el autor en un trabajo anterior, presentado en las Segundas Jornadas Geológicas (1963).

2.1. Cretácico

a) Formación Yacomisqui

Se ha designado con este nombre a los sedimentos de la ladera occidental del cerro Pañanilla, de la Loma Colorada y de Yacomisqui, ubicados en la Hoja 10c, Cafayate.

En la Hoja que se describe está presente esta formación en la cuña tectónica que se observa frente a los Corpitos.

En la quebrada de Chimpas, Galván y Ruiz Huidobro (19, pág. 2) describen la siguiente sucesión de arriba hacia abajo.

"1 - Areniscas conglomerádicas rojo ladrillo, friables. Clastos sueltos de hasta medio centímetro principalmente de cuarzo; calcáreas, con estratificación en bancos gruesos. Espesor 350 metros."

"2 - Conglomerado rosado, con rodados de hasta 15 cm en su mayor parte de cuarzo, también de feldespato y esquistos. Matriz arenosa del mismo material. Cemento calcáreo de color rojo. Espesor 20 metros."

García (3) considera a sedimentos semejantes a los de nuestra formación Yacomisqui, como pertenecientes a las facies arenosas de la formación Santa Bárbara (Margas Multicolores).

Ruiz Huidobro (6, pág. 168-169) por el contrario, no acepta la opinión de García, y los incluye dentro de su Formación Pirgua.

b) Formación Las Cañas

En los ríos de Las Cañas, de la Ternera Muerta, en Ancajuli y en la zona de Anfama se apoya sobre el Basamento proterozoico un conjunto de sedimentos que podrían corresponder a la Formación Yacomisqui, pero que hemos preferido agruparlos en otra formación por cuanto no hay seguridad que pertenezcan a aquella.

En el río de Las Cañas, unos 600 metros al poniente del puesto homónimo, esta formación se apoya sobre una superficie de erosión labrada en filitas sericiticas y filitas bandeadas del Basamento.

El conglomerado de base de dos metros de potencia, está formado por clastos poco rodados que confieren al banco el carácter brechoso.

Hacia arriba siguen areniscas coloradas rosadas en la superficie; de grano mediano a fino; estratificados en bancos gruesos, que se erosionan dando formas redondeadas. Por partes, presentan un moteado pardo rojizo por concentración ferruginosa. Tienen un rumbo de 35° y un valor de inclinación de 35° hacia el este.

En la quebrada Larga, que coincide con falla norte-sur que corre en el borde oriental de la Hoja, es posible observar algunos afloramientos de esta formación. Un kilómetro aguas arriba de la confluencia con el río Ancajuli el conglomerado brechoso se apoya en discordancia sobre el basamento.

Hay también buenos afloramientos de esta formación en Las Arquitas, al pie del cerro Cabrahorce, fuera de los límites de la Hoja. En esta localidad el conglomerado brechoso tiene unos 12 metros de potencia. Sería muy conveniente que los estudiantes tucumanos realicen trabajos de detalle, que facilitarían la correlación con las formaciones que afloran al norte de la sierra de Medina.

En la quebrada del Duraznillo esta formación está integrada por limos, arcillas margosas y areniscas de grano fino, grueso y conglomerádico. Los colores dominantes son pardo rojizo, verde y amarillo. Hacia la base las areniscas son de grano grueso a conglomerádico y de color amarillo con manchas de color pardo rojizo. Esta formación está coronada por areniscas de color rojo ladrillo, de espesor no determinado, que forman las lomadas del Duraznillo y de Anfama.

En el río Anfama, próximo a la toma del acueducto que suministra agua a la Ciudad Universitaria de San Javier, afloran de arriba hacia abajo los sedimentos siguientes:

- 1 — Arcilita de color pardo rojizo claro con fractura concoidal; friable. Espesor: 6 m.
- 2 — Limolita de color gris claro; finamente estratificada; plano de estratificación indicado por concentración ferruginosa de color rojo. Espesor: 0,40 m.
- 3 — Limolitas, de color gris azulado; bien estratificadas. Espesor: 0,50 m.
- 4 — Arcilitas ídem 1). Espesor: 10 m.
- 5 — Areniscas y conglomerado de grano fino; friable; con clastos de hasta 4 cm, en su mayoría de medio centímetro; ligados por una matriz arenosa de grano grueso sin cemento. La mayoría de los clastos son de cuarzo. Espesor: 20-30 metros.

Próximo al Basamento se observa un conglomerado brechoso de color pardo que está triturado por la falla de rumbo N 20° E. Por lo general es-

tos sedimentos tienen un porcentaje de calcáreo elevado (50-60%) y también es notable el yeso.

El miembro superior de esta formación podría corresponder al miembro inferior de la Formación Tolombón descrita por Galván y Ruiz Huidobro (1963, pág. 3) en un trabajo anterior y referida al Cretácico superior.

3. CENOZOICO

3.1. Terciario

Grupo Santa María

El grupo Santa María¹ está integrado por varias formaciones continentales de edad Terciaria, que están bien desarrolladas en todo el valle de Santa María desde la Punta de Balasto (sur de la Hoja 11c), hasta el cerro Paranilla (norte de la Hoja 10c, Cafayate). Es decir, en un complejo sedimentario reciente, y adosado por falla contra el Basamento precámbrico de las sierras de Anconquija y Cumbres Calchaquíes. Estos cordones montañosos, como se ha indicado en páginas anteriores, están separados por la depresión tectónica Tafí del Valle-Amaicha del Valle. Estas fracturas transversales y otras paralelas han interrumpido también la continuidad estructural de este grupo sedimentario, que está cubierto por depósitos recientes en el norte de la Hoja bajo estudio. Las formaciones que comprenden el citado grupo sedimentario, cuyo espesor verdadero no es posible calcular puesto que las formaciones infra y suprayacentes están limitadas por fallas, están constituidas por sedimentos de distinto tamaño y composición que van desde conglomerados hasta arcillas; y, en ciertos casos con restos fósiles que han facilitado su ubicación en el cuadro cronológico.

Para completar el cuadro estratigráfico fue necesario hacer observaciones en la contigua Hoja Cafayate (quebradas Arcayaco, Yacomisqui, del Chorro, etc.), donde las formaciones están mejor expuestas.

El Grupo Santa María ha sido dividido en las formaciones siguientes:

- a) Formación Saladillo
- b) " San José
- c) " Lorohuasi
- d) " Las Arcas
- e) " Andalhuaja
- f) " Yasyamayo
- g) " Los Corrales
- h) " Zanja del Molle

a) *Formación Saladillo*

Se incluye bajo esta denominación una serie de areniscas de color gris, rosado, amarillentas y/o verdosas; calcáreas; en partes micáceas; de granos finos a medianos; en partes conglomerádicas; por lo general bien estratificadas con intercalaciones de limos arenosos y arcillas calcáreas de colores pardo rojizo y verde, respectivamente.

¹ En este trabajo se proponen nombres para este grupo y sus formaciones integrantes, puesto que en los trabajos publicados se ha dado algunos nombres, pero sin tener en cuenta el concepto de formación geológica.

Solamente en la tesis inédita de Galván (3), cuyo trabajo de campo fue dirigido por el que escribe estas líneas, y en el trabajo presentado a las 2das. Jornadas Geológicas (4), se ha seguido esta norma.

El espesor observado en los arroyos que bajan de Los Corpitos hasta el río de unos 40 metros, aproximadamente. No es posible observar su base pues está en contacto por falla con las micacitas inyectadas del Basamento.

En la quebrada de los Cancino o de Jujuy, y en algunas de las otras quebradas que bajan al río Santa María, esta formación está también separada de la Formación San José por falla. Del mismo modo se presenta en todo el valle de Santa María, por lo que su posición estratigráfica es algo incierta.

Las formaciones siguientes, por el contrario, constituyen una unidad morfoestructural, que salvo variaciones locales, se presentan como sucesión estratigráfica normal.

b) Formación San José

La Formación San José está bien desarrollada en todo el valle de Santa María, aunque su base está muchas veces cortada por la gran falla regional u oculta por los depósitos cuaternarios. Está compuesta por sedimentos, por lo general finos y poco cementados que han sido muy trabajados por la erosión. Su color dominante amarillo verdoso y las formas resultantes de la erosión son caracteres que permiten distinguir a esta formación desde lejos. Además, presenta bancos algo más duros con conchillas (*Corbícula sp.*).

Frente al pueblo de Santa María se ha tomado el siguiente perfil de arriba hacia abajo.

— Areniscas y areniscas arcillosas de color gris, algo amarillentas, con intercalaciones de bancos arcillosos, friables, con concreciones calcáreas ovoidales y de yeso. A veces los bancos presentan estratificación bien marcada y algunos niveles con areniscas grises de grano grueso y conglomerádicas, con clastos de rocas graníticas, volcánicas y metamórficas, de hasta 10 cm de diámetro.

Se ha calculado que lo que aflora en la zona tiene un espesor máximo de 200-230 metros.

c) Formación Lorohuasi

Las quebradas de Pichanal y de los Cancino confluyen en el río Seco, que desagua en el río Santa María frente a la población de Lorohuasi, nombre que se ha adoptado para un conjunto de areniscas y limos arenosos con intercalación de niveles conglomerádicos. El color es gris verdoso amarillento, en fractura fresca; pero en superficie presenta una tonalidad pardo rojiza, debido a la meteorización de las capas superiores. Además la dureza de los bancos determina un relieve elevado y pronunciado con formas destacables que contrastan con el relieve suave de la formación inferior. Se nota una cierta depositación gradada en la sedimentación de esta formación por la alternancia más o menos rítmica, de las areniscas y limos. Este carácter se conserva en la vecina Hoja Cafayate (Galván 3, pág. 28).

En la quebrada que sale frente a La Soledad y que va hasta Caspinchango pasando por puesto Añaco se ha reconocido el perfil siguiente desde arriba hacia abajo:

1) Limos y areniscas de color gris amarillento algo verdoso; bien cementadas y finamente estratificadas; con intercalación de bancos de conglomerados gruesos con clastos de rocas volcánicas y rocas metamórficas bien cementados; que pasan hacia abajo a:

2) Limos y arcillitas de color rojo ladrillo oscuro; friables con intercalación de horizontes de conglomerado fino en la base y techo de este miembro inferior.

Se ha estimado que esta formación tendría un espesor total de 200m?

En la quebrada de las Arcas (Hoja 10e, Cafayate) esta formación está mejor desarrollada y más expuesta; estimándose un espesor de 400 metros aproximadamente. Galván (3, pág. 30), ha comprobado la presencia de restos vegetales, que serían similares a los de Tiopunco (sur de la Hoja 10e), y que han sido estudiadas por O'Donell¹ quien las clasifica como "Dicotiledóneas bien evolucionadas, quizás leguminosas".

Esta formación pasa sin límite marcado y en concordancia a la Formación Las Arcas.

d) Formación Las Arcas

Igual que las formaciones inferiores, comprende la franja de sedimentos que se extiende entre los ríos Caspinchango y Entre Ríos (Chiquimil), surcos erosivos que siguen líneas de fractura transversales; que son, precisamente, las que han limitado el desarrollo regional de estas formaciones en sentido norte-sur.

Es posible también reconocer algunos miembros de esta formación en las quebraditas que bajan a Amaicha.

Por otra parte, en la quebrada de Las Arcas (Hoja 10 e), lugar visitado por nosotros en el año 1956, está muy bien expuesta, sólo que los miembros superiores están formando un pliegue asimétrico (sinclinal y anticlinal) limitado al este por una falla.

Esta formación incluye un potente complejo de conglomerados finos, areniscas gruesas y finas, limolitas y arcilitas de color más o menos uniforme rojo ladrillo oscuro, pero de dureza variable, propiedad física que determina un relieve accidentado y abrupto, donde se destacan farellones de arenisca.

Como en el caso de la formación Lorohuasi, es notable observar una típica sedimentación gradada en este complejo.

En el perfil levantado en la quebrada Yasyamayo (Hoja Cafayate, zona sur) frente a Colalao del Valle, uno de estos ciclos de la sedimentación gradada está compuesta de:

1) Banco conglomerádico con clastos de tamaño mediano (3-5 cm), de rocas volcánicas (andesitas) y metamórficas.

2) Areniscas gruesas, en partes conglomerádicas, de color rojo ladrillo, cuarzosas bien cementadas. Se intercalan bancos de arcilita de color gris perla, muy compacta y finísimos banquitos de yeso fibroso, que pasan a:

3) Limolitas y arcilitas poco cementadas; friables. Espesor total: 30 m. Hacia el techo de la formación aumenta el tamaño de los rodados (hasta 10 cm), que se presentan como inclusiones en la arenisca, y que al desprenderse dejan unos huecos característicos, que son agrandados por erosión eólica. Esta formación tiene en la quebrada de Jujuy 150 metros; aunque en la quebrada de Las Arcas y de Yasyamayo llegaría a los 650 metros de potencia.

e) Formación Andalhuala

Esta formación es la que tiene mayor desarrollo, tanto en sentido vertical como horizontal. Una serie de pliegues y fracturas han expuesto esta formación en el pie de monte vecino a la sierra del Anconquiya, sólo que ha sido cubierta en gran parte por los depósitos correspondientes al segundo y tercer nivel de terraza; principalmente por este último que es el más extenso. Las observaciones de la cubierta sedimentaria, como es el caso general, han sido hechas en las

¹ O'Donell, C. *Troncos y ramas fósiles de dicotiledóneas en el Araucaniano de Tiopunco*, Cuad. Min. y Geología U.N.T.I. 1-Tucumán 1938.

quebradas donde la serie está expuesta. Se han levantado perfiles en los ríos de las Salinas, Caspinchango, de los Cancino, Entre Ríos, Andalhuala y Ampajango. También se han hecho observaciones en el río de Yasyamayo (Hoja 10e), donde la serie alcanzaría su máxima potencia.

Es posible dividir esta formación en dos miembros: a) un miembro superior compuesto por areniscas y limos de color castaño claro con niveles conglomerádicos y bancos de tobas cineríticas; y b) un miembro inferior compuesto de areniscas de grano fino a muy fino y limos de colores gris amarillento algo rosados y/o verdosos con abundantes intercalaciones de yeso.

En la quebrada de Caspinchango se ha tomado el siguiente perfil:

1) Areniscas y limos de color castaño claro; estratificadas en bancos gruesos, más bien friables; con niveles conglomerádicos poligénicos intercalados con clastos de hasta 10 cm, siendo frecuentes los de tamaño del puño. Dentro de los bancos de areniscas hay lentes de areniscas conglomerádicas con clastos pequeños y niveles de arenisca cuarcítica. Por partes la estratificación es torrencial o entrecruzada. Son comunes los "bolsillos" de arcilla y las concreciones cuarcíticas que tienen forma variada (hasta muñecas), predominando las esféricas con tamaños comprendidos entre 1 y 4 cm. Al caer las concreciones y/o rodados quedan espacios varios que son agrandados por erosión cólica. Hacia arriba sigue un banco de toba cinerítica de 1 ½ m de potencia y bancos de arenisca conglomerádica.

En el perfil de la quebrada de Entre Ríos se han encontrado en este miembro superior una serie de pequeños bancos de toba cinerítica y bancos conglomerádicos con clastos de tamaño comprendido entre 3 y 5 cm de rocas volcánicas y micacitas granatíferas inyectadas. A la altura de la Villa de Entre Ríos se han encontrado restos fósiles de vertebrados del conocido Araucanense de esta zona.

2) Areniscas de grano fino a muy fino y limos, de color gris amarillento-rosado. Se intercalan areniscas muy finas; finamente estratificadas, duras, de color gris, con vetitas de 1 y 2 cm de color rojo vivo, gris oscuro y blanco. Siguen hacia arriba areniscas muy finas, estratificadas en capas delgadas con finas capas de yeso.

En la quebrada de la Quenquiada, al sur del río Amaicha, se observa que los bancos están cruzados por vetitas de yeso y que entre los limos arcillosos se intercala gran cantidad de yeso fibroso. En la superficie de alteración los limos tienen color amarillo claro; pero la roca fresca es de color verde oscuro. En este mismo horizonte, en la quebrada de las Salinas hay un banco de yeso con "sal" (Cl Na) que aprovechan los lugareños.

El espesor de esta formación sería del orden de los 1.200 metros, calculados en la quebrada de Jujuy.

La presencia de mamíferos fósiles en esta formación ha dado lugar a varias expediciones, entre las que se cuenta la "Second Field Paleontological Expedition" en el año 1926. La abundancia de fósiles en esta zona ha sido el motivo de que se denomine "Loma Rica" a una de las elevaciones que está al sur de Entre Ríos (Chiquimil).

f) Formación Yasyamayo

En el perfil de Yasyamayo, por encima de la Formación Andalhuala y separada de ésta por una zona de falla sigue un conjunto de sedimentos de composición litológica diferente a los de las otras formaciones. Es posible también reconocer este complejo después de un prolijo estudio en el Rincón, Los Zuritas y los ríos de la Quenquiada y de las Salinas. En todos los perfiles no es posible observar ni el techo ni la base de esta formación pues está vinculada con las supra e infrayacentes por fracturas.

En Yasyamayo (Hoja 10c, Cafayate) tenemos desde arriba hacia abajo:

- 1) Limolitas de color rosado y amarillento con gran cantidad de microgasterópodos.
- 2) Calcarenita de color blanco en la superficie y algo rosado en la fractura fresca, con *Corbícula* sp?
- 3) Limos y areniscas arcillosas de color amarillo limonítico.
- 4) Limos de color amarillo verdoso con intercalaciones de gran cantidad de yeso fibroso.
- 5) Zona de falla.
- 6) Areniscas de color pardo-verdoso, de grano muy fino con intercalación de un banco de color blanco. Espesor total 40 m.

En el Rincón de Amaicha y el río de la Quenquiada, a unos 3 km al sur de los Zuritas, afloran areniscas arcillosas de grano fino a mediano de color hematítico (rojizo) y/o limonítico, con intercalaciones de niveles fosilíferos (*Corbícula* sp) en bancos de areniscas calcáreas muy compactas. La estratificación es fina y muy regular. Además se intercalan niveles arcillosos, de color verdoso, con su típica fractura concoidal. Peirano (9, Pág. 48) cita la presencia de calizas oolíticas en Los Zuritas.

La formación tiene un espesor de 80 m y de 40 m en el Rincón y la quebrada de la Quenquiada, respectivamente.

g) Formación Los Corrales

Este nombre ha sido usado por Peirano (9, Pág. 37) cuando describe el "conglomerado" de la quebrada del río de los Corrales que desagua en el río Amaicha, próximo al Infiernillo. Esta formación aflora además en las quebradas de Andalhuala y Ampajango, donde está limitada por fracturas, por lo que no resulta posible medir su espesor total.

En la quebrada de Ampajango se presenta la brecha de color gris oscuro, verde oscuro o rojizo y está compuesta de rocas volcánicas. Los clastos que son de diversos tamaños, desde medio centímetro hasta medio metro, están bien cementados. Su composición corresponde a una roca rica en minerales ferro-magnésicos entre los que se destacan los bastoncitos de anfíbol (andesita). El cemento es areno-arcilloso y de color gris azulado o gris claro.

En la quebrada del río de los Corrales, por debajo del miembro recién descrito, siguen bancos igualmente brechosos pero separados por bancos de arenisca de grano fino y de color castaño claro.

El nivel superior tendría un espesor aproximado de 120 metros.

h) Formación Zanja del Molle

Esta formación es otro conglomerado compuesto no solamente de clastos de rocas volcánicas sino que también se presentan clastos de rocas graníticas y de rocas de mezcla magmático-metamórficas. Los cantos rodados van desde el tamaño de bloque hasta el de gravilla; el cemento es arenoso, poco arcilloso, de color gris. Se intercalan areniscas arcillosas; micáceas; a veces conglomerádicas; poco o regularmente cementadas; de color gris, con matices amarillentos y rosados. El espesor de esta formación, cuyo techo se desconoce, pues choca por falla contra el Basamento, es de unos 600 metros.

Edad y correlación

Las formaciones sedimentarias del valle de Santa María han merecido la atención de numerosos autores, en especial por el contenido en mamíferos fósiles de algunos de sus horizontes.

Entre ellos Frenguelli (1) ha preparado un esquema del terciario, dividiéndolo en Santamariano y Araucaniano, separados por discordancia, ambos con tres subdivisiones.

No se ha utilizado esta clasificación pues Frenguelli ha incluido en su Santamariano sedimentos que no son de edad terciaria, como sucede con las areniscas rojas de la Formación Yacomisqui (pág. 409).

Con referencia a la edad del Grupo Santa María puede decirse que pertenece al Terciario superior. Los autores que han tratado este tema difieren sin embargo en ubicarlos dentro del Mioceno o el Plioceno. Peirano (5) los considera como Pliocenos, argumentando la no existencia de una discordancia regional y la presencia de tobas riolíticas dentro del complejo. Como tampoco se ha encontrado en toda la zona estudiada evidencia de una discordancia de ese tipo, y como los fósiles de la Formación Andalhuala (Araucanense) son pliocenos, aceptamos el criterio sustentado por Peirano.

Formación El Zarzo

En la sierra del Anconquiya, entre el Alto de Muñoz y el cerro El Zarzo, hay afloramientos de una brecha volcánica que no ha sido reconocida en otras partes de la Hoja, pero citadas por González Bonorino (6) al sur de esta región. En esta misma área se destaca una intrusión de basalto (puesto La Cueva), roca con fenocristales pequeños de labradorita, hipersteno, augita y olivina incluidos en una pasta vítrea muy abundante. La roca predominante de la brecha es una andesita.

Los afloramientos reducidos y en parte cubiertos por acarreo proveniente de la misma brecha, y la falta de relaciones con rocas cenozoicas no permite ubicar cronológicamente esta formación. Genéticamente es muy probable que corresponda a un pequeño y oculto centro eruptivo similar al de los cerros Durazno, Atajo, etc., de la Hoja Capillitas.

3.2. Cuartario

Los sedimentos cuartarios cubren gran parte de los valles de Santa María y de Talí, principalmente como depósitos aluviales, preferentemente gruesos, que constituyen una faja de abanicos coalescentes adosados a los bordes geomorfológicos de los bloques montañosos que forman el marco de aquellas depresiones.

En el mapa geológico se han diferenciado los sedimentos cuartarios en cuatro Formaciones, que geomorfológicamente corresponden a cuatro niveles pedemontanos principales.

Los sedimentos aluviales del primer y segundo nivel son remanentes de antiguos abanicos coalescentes, que morfológicamente representaban una bajada de probable edad eopleistocena, compuestos por fanglomerados adosados al borde de la sierra.

a) Formación La Mesada (primer nivel) es notable entre los Zuritas y Caspinchango, donde se presenta como una terraza angosta cuya superficie corresponde a la cota 2.500 aproximadamente. Entre los ríos Entre Ríos y Andalhuala la superficie de esta formación está a una altura de 3.500 metros. El fanglomerado está compuesto por rodados de rocas del Basamento poco o nada cementados donde predominan las micacitas finas granatíferas. Se estima una potencia entre 20 y 30 metros según la zona.

b) Formación Las Salinas (segundo nivel) tiene una litología esencialmente similar a la de la Formación La Mesada, y su superficie está labrada sobre las formaciones terciarias plegadas y fracturadas. Estas superficies de destrucción son contables en la zona de Caspinchango, La Maravilla y Morro de La Mesada. Hay restos de esta superficie entre Amaicha del Valle y el puente de Quilmes, en Loma Rica, Andalhuala, etc., lo que significa que el relieve primitivo tuvo un desarrollo considerable, a partir del borde occidental de la sierra del Anconquiya.

c) Formación Caspinchango (tercer nivel pedemontano) se conserva en una amplia superficie comprendida entre los bloques montañosos del Anconquiya y de la Sierra del Cajón.

Este extenso depósito cuartario está compuesto por sedimentos más finos que los de la Formación La Mesada; pero no obstante son gravas gruesas y arenas medianas a gruesas, mal seleccionadas. Entre los rodados de rocas del Basamento precámbrico se observan rodados de rocas volcánicas, principalmente andesitas, provenientes de la Formación Los Corrales.

Los sedimentos más finos se distribuyen en la zona de inundación de los ríos principales de la Hoja y en los bajos de los valles de Santa María y Tafí.

En las proximidades de los bordes de las quebradas, como la del Sapo, Anchi, etc., es posible observar lentes de ceniza volcánica intercaladas entre los sedimentos de los cursos aluviales más recientes.

En la cuenca de Tafí merecen consideración especial los sedimentos arcilloso-limoso-arenosos de color amarillo rojizo que cubren el fondo de las cuencas y parte de las laderas que circundan al valle.

El cerro Nuñorco Grande tiene tres mesadas según Peirano (1944, Pág. 31), cuyas superficies están cubiertas por arcillas amarillo rojizas, similares a las del valle. Este mismo autor cita en el zanjón del Potrerillo, en el río Tafí frente a Carapunco, unas capas de arcillas arenosas de color castaño con nódulos ocráceos cuya estratificación estaría indicada por capas de diferente tonalidad.

Estos sedimentos arcillosos se encuentran entre capas de cantos redondos y probablemente son depósitos secundarios formados por alteración laterítica del subsuelo rocoso y del material de acarreo pedemontano.

d) Los depósitos arenosos y loessicos de la Formación Las Mojarras constituyen los conos de deyección actuales y en una etapa de evolución. El contacto entre esta entidad y los correspondientes a la Formación Caspinchango está marcado por una ruptura en la pendiente, notable entre Los Zarzos y Amaicha, y los ríos de Tafí del valle y del Mollar.

B - ESTRUCTURA

Los movimientos tectónicos y orogénicos que actuaron en esta región determinaron dos tipos de estructura, a saber: la estructura interna del Basamento determinada por el primer ciclo diastrófico, referido al Precámbrico; y la estructura combinada de plegamiento de la cubierta sedimentaria y fracturación en bloques del Basamento rígido, que sería resultado del ciclo diastrófico acaecido durante el Terciario y con manifestaciones tardías en el Cuartario.

I - Estructura del Basamento

Los esquistos de la sierra del Anconquiya tienen una esquistosidad de rumbo variable que por lo general es noroeste. (En la zona norte el rumbo es NNE y la inclinación hacia el este). La inclinación en la ladera occidental es hacia el sudoeste.

En las Cumbres Calchaquíes los paquetes de esquistos tienen un rumbo que es noroeste en el cerro El Negrito y que pasa a NNE (N30°E) en la Ciénaga Amarilla. La inclinación es hacia el sudoeste en el sector sur y hacia el este o sudeste en el norte.

En el extremo sudeste de la Hoja son comunes los rumbos EO. En la Angostura (quebrada de los Sosas) el rumbo es N 70°-80°E y la inclinación es de 40° NO, más hacia el sur el rumbo es N 25° E.

El valor de la inclinación de los esquistos es por lo general grande; salvo en la sierra del Cajón que está en el orden de los 45°; pero en muchos casos este valor es aún más pequeño.

En la sierra del Cajón los esquistos tienen rumbos NO y ONO en el sector central y sur; mientras que en el terreno norte cambia el rumbo hacia NNO. La inclinación de la esquistosidad es hacia el oeste y los valores por lo general pequeños. En la quebrada de los Chañares, por ejemplo, las micacitas finas inyectadas tienen un valor de inclinación que no llega a los 15°. Entre los planos de esquistosidad subhorizontal se alojan filones de rocas hipabisales ácidas concordantes con la esquistosidad.

II - Estructura terciaria

La sierra del Anconquija y las Cumbres Calchaquíes, como la gran mayoría de las Sierras Pampeanas, representan bloques de Basamento volcados hacia el este, cuyas fallas principales pasan al pie de las faldas occidentales de las citadas elevaciones. La falla del Anconquija tiene un rumbo general NNE, y su ubicación es relativamente fácil gracias a la presencia de los sedimentos terciarios. Sin embargo, los depósitos cuaternarios pedemontanos cubren en muchas zonas, esta importante dislocación; lo que dificulta el reconocimiento del plano de falla, aunque no tanto como para que no pueda afirmarse que es debida a movimientos compresionales.

El rechazo de esta falla sobrepasa los 3.000 metros que es el espesor de la cubierta terciaria (Plioceno). Si tenemos en cuenta que no se conoce la base del Grupo Santa María y que las formaciones que afloran en el valle de Santa María y en las depresiones orientales de las Cumbres Calchaquíes se consideran de edad cretácica, podríamos suponer que el rechazo de la falla estaría en el orden de los 5.000 metros, valor que, por otra parte, es común en la zona de Alemania y en la Hoja 8e, Chicoana.

La falla del Anconquija se interrumpe por las estructuras transversales que delimitan la fosa tectónica de Tafí del Valle-Amaicha del Valle y que, por otra parte, son las responsables del hundimiento de aquel cordón montañoso, que estructuralmente queda desvinculado de las Cumbres Calchaquíes. Sin embargo, se ha interpretado que esta estructura sigue hacia el norte cubierta por depósitos cuaternarios hasta empalmar con la gran falla de las Cumbres Calchaquíes que tiene un rumbo NNO en el extremo norte de esta Hoja pero que cambia en la vecina hacia el NE; rumbo que se ha indicado corresponde a la estructura general del borde oriental del Valle de Santa María, desde la Punta de Balasto hasta Cafayate (Hoja 10c).

La falla que se describe tiene relación estructural con otras fallas subsidiarias que en Alto de Rumiarco se bifurca determinando una cuña tectónica, donde son notables las areniscas raíz de la Formación Yacomisqui.

La falla que ha determinado el vuelco del bloque correspondiente a las Cumbres Calchaquíes tiene un rumbo NNO desde la latitud de Tafí del Valle hacia el norte y un rumbo de NS en la quebrada de la Angostura o de los Sosas. El trazado de esta falla no se puede establecer con seguridad por la falta de sedimentos terciarios; no obstante en el tramo sur coincide con la interpretación dada por González Bonorino (1954, Pág. 38 y mapa) quien ha notado la pre-

sencia de brechas volcánicas terciarias en el Campo de las Carreras. En el norte su ubicación es también segura pues los sedimentos de la Formación Yasyamayo marcan el límite.

La tercera fractura de importancia es la que determina el marco sur de la depresión correspondiente a los valles de Taffí y Amaicha. Esta falla tiene un rumbo sensiblemente paralelo a la de las Cumbres Calchaquies. En este caso su posición exacta se establece a todo lo largo de la quebrada de Amaicha y en Los Corrales, donde hay evidencias estratigráficas.

Otra fractura evidente es la que con rumbo NS pasa por el borde oriental de la Hoja determinando otro bloque menor que culmina en el cerro Cabrahorco. En la profunda quebrada del río de la Hoyada son notables los espejos de fricción en las filitas cuarzosas, con formación de mineral de hierro (hematita).

Los planos de esquistosidad de la roca son algo rugosos y están cruzados por venas de cuarzo de 1 a 2 cm de espesor.

Los planos de ruptura que son normales a la esquistosidad, están rellenos por una brecha fina, con trozos angulosos de la misma roca, de dos o tres centímetros.

Bloques menores, como el de Anfama, están parcialmente cubiertos por los sedimentos de la Formación Las Cañas. Estos bloques menores están limitados por fallas transversales de rumbo EO y NE.

Los movimientos que fracturaron en bloques al Basamento determinaron, a su vez, el plegamiento de la cubierta sedimentaria pliocena, cubierta en gran parte por los depósitos de pie de monte. En conjunto las formaciones del Grupo Santa María tienen un rumbo general NNE con inclinación hacia el naciente estructura que coincide con la inclinación de los trozos mayores del Basamento.

La representación de las formaciones en el mapa geológico nos dice de las variaciones del rumbo, particularmente notables frente al pueblo de Santa María; donde una fractura transversal ha interrumpido la continuidad de los afloramientos. El rechazo es evidente en las Formaciones San José, Lorohuasi y Las Arcas que no tienen continuidad a ambos lados de la falla.

Otras estructuras similares han hecho desaparecer a estas formaciones al sur de San José y al norte de Los Poronguillos.

La fractura de Caspinchango es la línea tectónica que ha interrumpido la continuidad de la estructura en el norte. Esta falla tiene un rumbo NNO-SSE, similar a las líneas tectónicas que han determinado la depresión de Amaicha del Valle. En el plano de falla se ha interpretado que buza hacia el noreste.

La falla de Entre Ríos tiene rumbo EO y el plano buza hacia el sur. El desplazamiento horizontal es más aparente que real. La erosión del bloque ascendido, en este caso el que contiene las formaciones inferiores, causa esta impresión. Por lo tanto, la zona entre las quebradas de Caspinchango y Entre Ríos representa bloques ascendidos; mientras que la zona que está, respectivamente al norte y sur de las quebradas citadas corresponden a bloques hundidos.

La reconstrucción de la estructura de plegamiento no ha sido nada sencilla si se tiene en cuenta que las observaciones hay que hacerlas, en su gran mayoría, siguiendo los cursos de los ríos. Por otra parte, la uniformidad de la litología de la Formación Andalhuala no es nada favorable para resolver la tectónica.

La Formación Andalhuala cubre una superficie comparativamente grande en relación con su espesor que se ha estimado en 1.200 metros. La razón es que está afectada por un plegamiento que determinó la formación de anticlinales y sinclinales, como se puede ver en los perfiles. Además, una falla norte sur, que se extiende desde Los Poronguillos hasta Pagancillo, ha repetido los miembros de esta formación, principalmente los niveles que contienen los conocidos márfiros.

En la sierra del Cajón está ausente la cubierta sedimentaria terciaria segu-

ramente como resultado de la posición del bloque y de la erosión. Los afloramientos del Basamento de esta sierra quedan limitados por la gran falla que corre más o menos paralela al río Santa María y que se prolonga en el norte por el río Calchaquí hasta la Poma.

Los trozos de Basamento que se observan en Fuerte Quemado y Las Mojarras, corresponden a trozos menores de esta gran estructura.

C - GEOMORFOLOGIA

La estructura de bloques del cordón montañoso Anconquija-Cumbres Calchaquíes y de la Sierra del Cajón determinan una morfología que corresponde a la de las Sierras Pampeanas, caracterizada por un perfil asimétrico con una falda abrupta, que corresponde a la vertiente formada por la falla o fallas que han ocasionado el vuelco del bloque, y otra con pendiente más suave. En esta Hoja los bloques están inclinados hacia el naciente, siendo más importantes los del Anconquija y Cumbres Calchaquíes, que se conservan como unidades morfoestructurales principales a las que se adosan bloques macizos que se desprenden de ellas, al naciente.

Las culminaciones no presentan formas de aristas, sino que sus formas corresponderían a una antigua semiplanicie madura que, en partes, está bien conservada. Es decir la cumbre se presenta como una plataforma ancha, suave y ondulada, relieve donde se acumula, a veces, la precipitación pluvial (lagunas de Huacahuasi, de los Amaicheños, etc.).

Las laderas de las sierras están surcadas por quebradas que corren paralelas y que determinan filos redondeados en la zona más alta y más afilados ("cuchillas") en los bloques menores; principalmente en la ladera oriental lluviosa, próxima a la selva basal.

En la parte alta del Anconquija en el cerro Las Animas y los que siguen fuera de la Hoja al sur, es posible observar la presencia de un incipiente relieve glaciar, caracterizado sólo por pequeños circos, sin lengua ni morenas bien definidas.

El ciclo fluvial posterciario dejó como resultado la acumulación de niveles pedemontanos (terrazas aluviales). Se ha indicado que no hay indicios de perturbaciones tectónicas considerables durante el Cuartario, por lo que la inclinación actual de los niveles debe ser primaria.

La dirección predominante de los niveles pedemontanos, adosados a la sierra del Anconquija y Cumbres Calchaquíes es del sudeste hacia el noroeste; es decir, son normales al rumbo general de estas elevaciones. Los niveles que corresponden a la sierra del Cajón tienen una dirección del oeste hacia el este.

El transporte de los valles de Santa María y de Tafí queda limitado por la distancia que media entre las principales elevaciones; alcanzando su máxima expresión en los depósitos correspondientes al segundo y tercer nivel que pueden alcanzar hasta los 20 kilómetros.

El primer nivel de piedemonte corresponde a una terraza de erosión fluvial, labrada en parte sobre las rocas duras del Basamento, en la zona correspondiente a la escarpa de falla. La superficie de la terraza indica un transporte muy limitado que alcanzó el kilómetro y medio.

El segundo nivel, por el contrario, alcanzó una mayor distancia, llegando prácticamente a las proximidades del río Santa María. La erosión posterior ha eliminado gran parte de la primitiva llanura aluvial, pero que en realidad corresponde a un *pedimento*, superficie que, como explica Thornbury¹ (pág. 302 y siguiente), está labrada sobre roca en un ciclo árido.

¹ Thornbury, W. D.: Principios de Geomorfología. Editorial Kapeluz, Ed. 1960.

El tercer nivel corresponde a una pendiente de piedemonte que consta de un *pedimento*, superficie de erosión en rocas plegadas del Grupo Santa María, y de una *bajada*, o parte inferior, originada por la coalescencia de viejos conos aluviales. Este nivel es el más importante, cubre una superficie mucho mayor que los niveles más antiguos y, por otra parte, suministra apreciable cantidad de agua subterránea (ver capítulo correspondiente) a las poblaciones vecinas al río Santa María. De la sierra de Capri emergen varios colectores que dan lugar a una serie de *conos de deyección*, que en su parte distal se corren para formar una *bajada* que es recortada por el curso actual del río Santa María.

Otro *cono de deyección* muy notable es el que corresponde al río Blanco (ver Lám. II) que pertenece a la cuenca del río Taffí. En este caso la pendiente aluvial es mayor. Este cono está recortado por una serie de cauces o cañadones, que la mayor parte del tiempo están secos. Se forman por derrames del curso principal, a causa del tarquinamiento del cauce como consecuencia de la gran cantidad de material grueso que arrastra el río durante las crecientes.

Red de avenamiento

La estructura del bloque ha determinado que se instale una red de avenamiento consecuente, determinada por la pendiente inicial del terreno.

En conjunto, las corrientes consecuentes muestran un *diseño dendrítico*, labrado sobre rocas cristalinas. El diseño dendrítico es notable en las laderas orientales de las sierras del Anconquiya y del Cajón, y en las Cumbres Calchaquíes.

Este diseño pasa a *rectangular*, en aquellas zonas donde la estructura de fallas de rumbo norte-sur controlan su dirección original, que es hacia el naciente. Por esta razón, las corrientes que drenan las Cumbres Calchaquíes de rumbo original oeste-este cambian bruscamente de rumbo y se dirigen hacia el norte (ríos de Chaquivil y de la Quebrada Larga) o hacia el sur (río de la Hoyada).

Los cerros de tipo "monadnock", como el Nuñorco Grande y el Cabrahorco han desarrollado un diseño del tipo *radial* que pasa a rectangular.

Sobre los depósitos sedimentarios plegados y fallados del Grupo Santa María han sido labrados una serie de *valles transversales* a la estructura de rumbo NNE-SSO.

El paisaje de huayquerías (bad lands) es notable en la zona donde están presentes las formaciones del Grupo Santa María con diferente resistencia a la erosión. Este paisaje se desarrolla principalmente en la Formación San José con una textura de avenamiento *fin*, producto de las precipitaciones de tipo torrencial en un ambiente semidesértico, sobre sedimentos finos impermeables.

Al río de la Angostura se lo puede considerar como un tramo antecedente del río de Taffí del Valle, y sus colectores, que se formaron como cursos consecuentes al producirse el vuelco del bloque del Anconquiya. No habría pasado mucho tiempo desde la instalación de los cursos que avenaban los bloques del Anconquiya y Cumbres Calchaquíes cuando se empezó a esbozar la falla del río La Angostura, de rumbo N-S, y comenzó el ascenso del bloque correspondiente a la cumbre de Mala-Mala o de Taffí, que actuó como muralla de contención para los ríos que avenaban el valle de Taffí.

Este obstáculo acortó el nivel de base de los colectores, que entraron en una etapa de acumulación que colmó con sedimentos el citado valle ocultando parcialmente la Loma Pelada. Los sedimentos arcillosos de color amarillo-rojizo que forman el suelo del valle y que aparecen en las laderas y en las serranías bajas del valle, así como los sedimentos salobres de El Salitral, serían una prueba que en determinado tiempo esta cuenca estuvo cerrada. El vaciamiento del valle se habría producido al revasar las aguas por sobre las divisorias de agua, lo que favoreció la erosión de la barrera y la captación del embalse natural por

el río de La Angostura. Al alargarse nuevamente el nivel de base del río de Tafi se aceleró el proceso de erosión, con la eliminación de los sedimentos lacustres que cubrieron parcialmente a la Loma Pelada o del Medio.

Este proceso es similar y probablemente coetáneo al estudiado por nosotros en otros ríos del noroeste argentino, a saber: río Pírgüa o de Alemania; río Mojotoro; río de las Conchas, etc., donde son notables las terrazas holocénicas.

El cerro Nuñorco tiene tres "mesadas" a distintos niveles que representan las etapas de evolución de la cuenca.

D - HISTORIA GEOLOGICA

La historia geológica de la Hoja 11e, Santa María, comienza con la deposición de sedimentos finos en una cubeta marina cuya superficie y profundidad no es posible determinar. Los sedimentos pelíticos eran esencialmente arcillo-cuarzosos con cemento que podría ser calcáreo.

Las diferencias de tamaño, evidentes aun después del metamorfismo regional, prueban que la sedimentación fue rítmica con alternancia de sedimentos de distinta granulometría.

Las calizas representan al carbonato de calcio que fue llevado en solución por las corrientes hacia el mar y luego precipitado. No hay elementos de juicio que permitan suponer cuales fueron las verdaderas causas de la precipitación de estas calizas. Podría haber sido el aumento de temperatura, combinado con la acción fijadora de algas y bacterias.

Los movimientos tectónicos determinaron el retiro del mar con lo que se interrumpió la sedimentación. Se supone que estos movimientos sucedieron durante tiempos Precámbricos, presumiblemente Protezoicos; pues rocas similares son cubiertas en discordancia angular por sedimentitas cambro-ordovícicas en la región ubicada al norte del paralelo 25.

Los movimientos tectónicos habrían ocasionado el ascenso del magma ácido, que invadió las rocas de caja siguiendo preferentemente los planos de esquistosidad, formados como consecuencia del metamorfismo dinamotérmico. El metamorfismo se hizo sentir de diferente modo conforme a la profundidad. Se supone que los esquistos listados de la región oriental y norte, así como las filitas y pizarras de los bloques orientales (Lagunita-Raco-Simbón, San Javier, etc.), representaban la parte superior de la presuntiva cubeta de sedimentación donde los efectos del metamorfismo llegaron más alternados.

El carácter sedimentario original se conserva todavía en el norte de las Cumbres Calchaquies (Hoja 10e, Cafayate) donde son notables los planos de sedimentación de las areniscas finas y de las lutitas que dieron origen a estas rocas semimetamórficas, que se reconocen por la ligera lineación que presentan los componentes minerales, y porque el bandeo primitivo se ha acentuado como consecuencia de la recrystalización y ordenamiento de los minerales originales.

La invasión magmática se pone en evidencia por la presencia de numerosos cuerpos lenticulares sintectónicos acompañados por una profusión de venas cuarzo-feldespáticos que se alojaron preferentemente siguiendo planos de debilidad de la roca.

El ascenso magmático se pone de manifiesto en el cuerpo granítico de Chaquivil. La relativa fluidez de este magma quedaría demostrada por la presencia de rocas hipabisales, que se habrían formado a expensas de líquidos residuales que cristalizaron principalmente como pegmatitas; las que muchas veces inyectaron e impregnaron a la roca de caja, siguiendo de preferencia los planos de esquistosidad.

Después de estos acontecimientos geológicos habría seguido un período de ascenso y posterior erosión que habría persistido a través del Paleozoico y de gran parte del Mesozoico.

Después de un largo período de erosión, un nuevo ciclo de sedimentación se manifiesta durante el Cretácico con la depositación de la Formación Las Cañas, que se asentó sobre un plano de erosión labrado sobre rocas precámbricas. En las áreas vecinas al paralelo 26 la cuenca habría sido más profunda, permitiendo la sedimentación de otras formaciones más jóvenes que formaban parte de este ciclo sedimentario. Posteriormente sobrevino un período de ascenso y fracturación como consecuencia de los primeros movimientos terciarios conservándose en pequeñas fosas tectónicas laterales, restos de aquella formación que fue erosionada.

Durante el Plioceno la región descendió hasta admitir la depositación de las formaciones correspondientes al Grupo Santa María, bajo un clima templado, probablemente semidesértico. En los últimos tiempos de la depositación fluvial sobrevino una erupción volcánica muy notable en la Hoja Capillitas, pero que en la Sierra del Anconquija se manifiesta en forma de reducidos afloramientos de diques básicos y brechas.

Las líneas de fractura esbozadas en el Terciario bajo se reactivaron al final del Plioceno originando el ascenso de los bloques del Anconquija, de las Cumbres Calchaquís y del Cajón, conjuntamente con los bloques menores del Cabrahorco, Anfama, etc. En consecuencia, la erosión inició el desgaste de las rocas más friables a expensas de los cuales se rellenaron parcialmente los valles intermontanos.

El cambio climático que sucedió durante el Pleistoceno no habría sido muy marcado, ya que dejó pequeños circos glaciares en las elevaciones por encima de los 5.000 metros. Cuando finalizó esta incipiente glaciación se produjo el derretimiento del hielo seguido por un período de lluvias que produjeron el arrastre y la acumulación de sedimentos, formando extensos depósitos de piedemonte en los valles vecinos. Sucesivos períodos secos y lluviosos determinaron una serie de niveles terrazados.

ABSTRACT: Weak rocks are related to many engineering problems and research on their properties and behaviour is being conducted in many institutions for the last 15 years. This paper includes the presentation and discussion of some basic concepts, like the definition of weak rocks and the classification of the different types based on their origin, raises some questions concerning sampling and testing of these rocks and finally introduces a case study where the behaviour of mudrocks is responsible for the stability of a 100 m high marine scarp in Portugal.

1 - INTRODUCTION

The study of weak rocks for engineering purposes has received considerable attention over the last two decades, due to extensive construction on and with them. Their behaviour is often far from that predicted. Moreover, many of the sampling and testing techniques currently used for soils and rocks could not always be used for these materials. In addition most rheologic models and constitutive laws developed for rocks and soils do not accurately define their mechanical behaviour.

Reports on weak rock case histories and on results from tests and research performed on these materials have been presented in many publications and meetings. However systematic initiatives to promote research on this topic came first from the International Societies for Soil Mechanics and for Rock Mechanics through sponsored regional conferences and international symposia where this topic corresponded to a theme or to a full programme. The first initiative was the V Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, held in Argentina in 1975 which included

ded a session entitled "Applied Rock Mechanics: Mechanical Properties of Weak Materials" (Deere 1975). The first well known ISRM International Symposium on Weak Rocks, was held in Japan in 1981.

This subject also became attractive for engineering geologists and the theme 2 of the 5th Congress of the International Association of Engineering Geology, held in Argentina in 1986, was devoted to "Engineering geological problems related to foundations and excavations in weak rocks" (Deere and Yardé 1986). Since then, many relevant meetings have been organized at national, regional and international levels. At the 6th Congress of the International Association of Engineering Geology, held in Amsterdam in August 1990, the topic was specially considered within the session on "Construction Materials" under the subtheme "Problem materials" (Degado Rodrigues 1990).

The need for further research and discussion on the subject of Weak Rocks is very well documented in the papers of this conference. Many aspects of the properties of rock materials and rock masses

and their behaviour related to engineering works are included.

2 - DEFINITION AND TYPES OF WEAK ROCKS

2.1 - General

Several terms have been used to name geological materials harder and stronger than engineering soils, but not behaving as hard rock. These geological materials correspond to the transition between conventional soils and conventional rocks, the border line being usually difficult to draw, different authors using different limits. The most common designations seems to be weak rocks and soft rocks. Sometimes the term indurated soils is used in the sense of very weak rocks. Some authors have also used the term low strength rocks since quite often the strength is the means for classification.

Most weak rocks fall within the category of problem materials.

What are problem materials? They are materials which may cause problems, not only as construction materials, but also as foundations, in slopes, or in underground works. Although used by different authors, sometimes with similar meanings, these terms are based on quite different concepts and may not necessarily correspond with each other.

Weak is a relative concept. A given material may be weak with respect to the loads imposed by a large bridge or arch dam but may be strong enough to support the loads imposed by the construction of a two storey building for example. Of course, a classification must be absolute and not dependant upon any external actions.

Soft rock is used by some authors with the same meaning as weak. This is the case of papers produced within the environment of the ISSMFE especially those originated within the Committee on "Soft rocks and indurated soils" (ISSMFE, 1989). However, for other authors, soft rock is the de-

signation of poorly cemented (or more exactly micritic) rock and not other groups, such as very weathered eruptive rocks. The organisers of the Weak Rock ISSRM Symposium in Tokyo have used the subtitle "Soft, fractured and weathered rock", implying, by so doing, that weak rocks would be only those that fall within the subtitle. Other authors, however, include other types of rocks in the same context such as rocks with large cavities (solution and genetic voids) (Pechorkin 1986).

These designations vary very much from person to person, country to country and organization to organization. This meeting clearly shows that people classify and use these terms in different ways and it is a good opportunity to get some agreement about these definitions. Another way of getting this agreement is through the work of the Commissions of the International Societies of Soil and Rock Mechanics and to create a similar commission within the IAEG or to set up a joint working group of all three.

2.2 - Definition of weak rock

The most common way of looking at the question of what is a weak rock is through the assessment of the rheological properties of the rocks, namely the deformability, the uniaxial compressive strength and the shear strength and their time dependency.

One important question is definition of the lower limit for weak rocks; the borderline between soils and rocks. (Rocha 1977) compared the results of a series of tests conducted on different soils and rock samples (sands and clays; mudstones, shales, limestones, granites, schists, etc.) and he concluded that the cohesion and the uniaxial compressive strength are the two parameters which serve best for definition of the boundary between soils and rocks. Results were also obtained for the internal friction angle but this is not a useful distinctive parameter.

According to these results, materials with a cohesion above 0.3 MPa and a uniaxial compressive

value of the uniaxial compressive strength was used as the lower limit of the strength of rocks in the BGD (Basic Geotechnical Description) published by the ISRM Commission on Classification of Rocks (1981). In this same classification, a uniaxial compressive strength of 20 MPa is considered the upper limit for rocks with low strength. This range 2 to 20 MPa still has one internal boundary at 6 MPa marking the separation between very low strength and low strength rocks. These groups are respectively S5 and S4 in the BGD. For this range (2-20 MPa) the strength values are very sensitive to the degree of saturation.

Following some accepted correlations, for rocks with strength properties within these limits (2-20 MPa) the corresponding deformation moduli are between about 500 and 5 000 MPa. As such this group of rocks is liable to cause problems with foundations of heavy structures. In particular, small variations in modulus may be important to the behaviour of the structures, so that a high degree of accuracy in determining the deformability is required. Fig. 1 shows the influence of the deformability of the foundation of a 120 m high arch dam on the displacements of the crest of the dam as a result of the stress field built in the structure, as the deformability of the rock mass decreases (Oliveira 1988). Assuming that the deformability of the concrete is 20 000 MPa one can conclude from the figure that, in such example, the rock deformability becomes critical for modulus values below 5 000 MPa, the range for weak rocks.

For these rocks, time dependent properties are also very important. They may show significant creep, even at low stress levels. Unlike most stronger rocks reliance can not be placed on instantaneous values of the deformation parameters.

Other properties, however, have to be taken into consideration when classifying weak rocks. The most used seem to be the slaking and the swelling properties, since they exert a strong influence over the behaviour of these materials in response to modification in the fluids are content on the state of

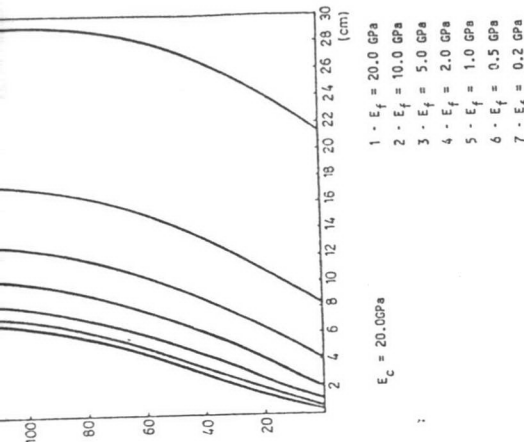


Fig. 1 - Crown section of an arch dam. Downstream deflection

stress. Slaking is basically related to the mineralogical arrangement of the components (texture). Deintegration of the rock occurs due to alternative drying and wetting cycles. The propensity for swelling is controlled by the mineralogical composition of the rock for example the presence of swelling clay minerals.

Fig. 2 shows a corebox from a borehole in a sound gabbro formation but which is very altered at 50m depth. This picture shows the expansion of the core due to swelling and stress relief of the weathered gabbro as consequence of the properties of the weathered minerals.

Moderately strong rocks (20-60 MPa) and even some stronger rocks may become weak, if they are not stable, as a result of decay resulting from swelling or slaking of the material. This is especially true of particular rock types such as marls, marly limestones and shales, in certain engineering situations (for example natural and excavated slopes, shallow foundations, underground excavations and

the scale of the rock mass.

Examples of weak rocks of type a) are argillaceous and the arenaceous rocks of sedimentary origin (mudstones, siltstones, shales, marls, chalks, sandstones and calcarenites), of metamorphic origin (argillaceous schists and phyllites), and of volcanic origin (tuffs, agglomerates and breccia). The diagenetic bonding is achieved in most cases through the presence of a cement which is responsible for the cohesion of the rocks, but some permanent cohesion may also result from interlocking of constituent minerals and ionic ties. These rocks are weak because the bonding elements lack strength at the present stage of diagenesis.

Examples of weak rocks of type b), are very weathered rocks of eruptive and metamorphic origin approaching the transition to residual soils (w5 and eventually also w4). Less frequently considered are the rocks that have resulted from the alteration of sedimentary rocks, namely mudstones, but recent studies are available in the literature (Dobereiner et al. 1990 and Oliveira Campos).

The chemical alteration of some minerals (feldspars, phyllosilicates, micas, pyrite, calcite, etc.) results in a decay of the mechanical properties of the original rocks, turning them into weak rocks. An interesting example is the swelling experienced by a slaty shale from the south of Portugal after being soaked into H_2SO_4 . The reaction of the pyrites turned the specimen into a completely different material expanding by about 3 times (Ojima 1983). Common to all the weak rocks of this type is their high porosity resulting from weathering process. Values may reach 40% and they generally exceed 15% (Dobereiner 1990). As already indicated generally there is a good correlation between porosity and strength.

The decay of rocks can also occur due to tectonisation, as for example, of folding of strata causing shear and crushing (microfracturing) the material. This is a process frequently affecting foliated rocks as it is the case of shales and phyllites and also layered formations. In areas most affected by shearing, the mechanical properties of the rock decrease and it may ultimately behave like a soil as

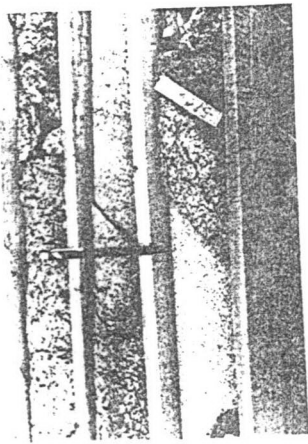


Fig. 2 - Expansion of weathered zones of a gabbro rock mass

construction materials). These are also named ex-luvite rocks and they constitute a group of problem materials.

Porosity is another important physical property of weak rocks. Most weak rocks, namely those resulting from weathering processes may have very high porosity depending either on the voids resulting from leaching of the weathered material (void porosity) or from fissures resulting from the decay process acting on the minerals (fissure porosity). Reasonable correlations have been found between porosity and uniaxial compressive strength (the higher the porosity, the lower the compressive strength) and were reported by L. Dobereiner (1989).

2.3 - Types of weak rocks

One possible classification of weak rocks, is based on their origin. Weak rocks may be weak as consequence of:

- poor bonding conditions of components
- weathering of components
- tectonisation (shearing due to folding and faulting)
- presence of cavities (voids and caverns)

The first two, poor bonding and weathering of components, are more related to rock material, which is the topic of this lecture. The latter two are frequently but their influence is stronger at

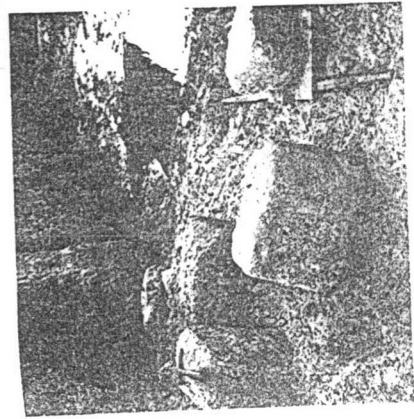


Fig. 3 - Block sampling of weak rocks

consequence of the alteration caused by the easier penetration of the weathering agents. These shear zones occurring in bedded formations are generally thin, however they may exert a very strong control over the deformability and strength properties of the rock mass. Faulting can cause similar consequences and even in sites where very sound and strong rock occur, as is often the case for example of granitic formations, it is common to acknowledge a very wide band of disturbed rock adjacent to an important fault (fault zone).

3 - SAMPLING AND TESTING OF WEAK ROCKS

Sampling is the process used to obtain representative specimens of soils and rocks to be studied in the laboratory. To assess accurately most of the relevant properties of these materials, "intact" samples should be obtained, such that where the intrinsic properties do not suffer any significant modification as consequence of the extraction process. Sampling of weak rocks is often difficult as most of the conventional techniques were developed either for soils or hard rock. Static and dynamic thin walled samplers are not usually capable of penetrating rock material. We have developed at our laboratory a special static thin walled penetration sampler but its performance is not satisfactory in

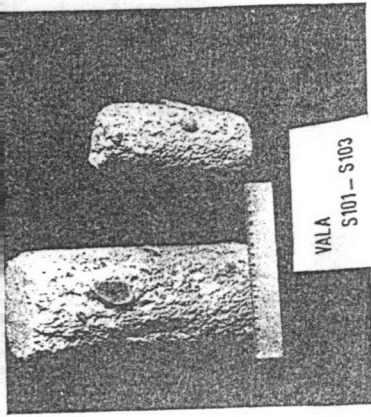


Fig. 4 - Specimens obtained by manual cutting of a heterogeneous sandstone

most weak rock. Current drilling equipments and techniques tend to damage weak rocks so that although a hole is formed, it is not possible to obtain good samples. When fresh excavations are available, block sampling may be carried out (Fig. 3). The preparation of the specimens for testing may then be carried out in the laboratory, by manual or mechanical cutting (Fig. 4).

Arenaceous weak rocks can be the most difficult types to sample especially the more heterogeneous ones and poorly cemented varieties in the lower range of strength (LNEC 1976).

Some modifications to drilling practice can improve sampling success.

For example with conventional rotary drilling equipment, reasonable samples may often be obtained by using large diameters (>86mm), double or triple tube core samplers and minimal clean water flush or air foam (Dobereiner and Oliveira 1986). In general it is important to keep samples at their natural moisture content so sealing immediately after extraction is essential.

Even using great care, adequate core recovery may still prove very difficult, especially at great depths or where the rock mass is very heterogeneous (for example quartz veins inside a weathered phyllitic rock mass). Poor results may lead to mis

interpretation of site conditions. In such cases, common in Portugal and elsewhere "Integral Sampling" techniques (Rocha 1971) may be very useful for site investigations, samples cannot however be tested due to the impregnation of the rock.

An interesting case history relates to an underground power station site in Brasil. The schematic geological section is shown in Fig.5. Below about 80m of a diabasic formation lies a thick sandstone layer within a quite sound sandstone complex where according to hydropower requirements it is desirable to excavate the cavern. The contact between the two complexes consists of a brecciated layer about 6m thick, containing calcite inclusions some centimeters in diameter.

Since in all the boreholes drilled to depths of 120-130 m through the contact breccia, little of the upper parts of the sandstone complex were recovered, it was feared that this was very friable rock that would be most unsuitable in the vicinity of the cavern roof. As the clarification of this question was vital for design decisions and since this poor core recovery could have resulted from the desintegration of the sandstone by the calcitic fragments included in the breccia drilled above, the decision to perform integral sampling at that depth inside some boreholes was taken. The excellent sandstone samples obtained by this technique (Fig. 6), although showing some impregnation, indicated that no significant difference in friability occurs between the first metres and the underlying sandstone layers. Thus there was no need for changing of the location of the cavern.

Special attention might be required when sampling weak rocks with a high degree of anisotropy. Even in very weathered isotropic rocks, such as granites or diorites, strong anisotropic behaviour has been noted, presumably due to stress relief which accompanies weathering. Deformation is higher in a direction normal to the ground surface and lower in the direction parallel to it.

Now that some consideration has been given to sampling, laboratory testing of weak rocks will be discussed. These tests are very important for the

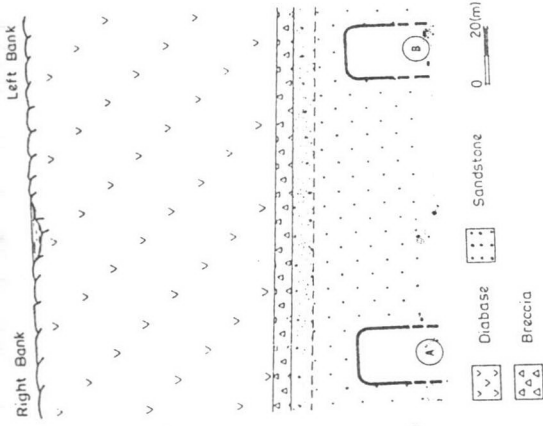


Fig. 5 - Schematic geological section and alternative locations for the cavern

understanding of the respective rock mass behaviour, since the properties of the rock material in these cases represent to a large extent the behaviour of the rock mass, and in many cases the mechanical and hydraulic properties of the material may be approximately the same as those of the rock mass.

Depending on whether the strength of a given rock lies respectively towards the lower or upper end of the strength range, the tendency is to test the material using standard soil mechanics or rock mechanics tests. However, these tests do not always apply adequately to the most typical weak rock materials, and problems often arise as consequence of the lack of sensitivity of conventional equipment.

Besides mechanical properties, it may be very important to determine other physical properties which control to some extent the behaviour of the material when in contact with weathering agents, and to try to find correlations between the results of index and mechanical properties, namely strength, deformability and creep. The selection of these tests depends on the type and components of the weak

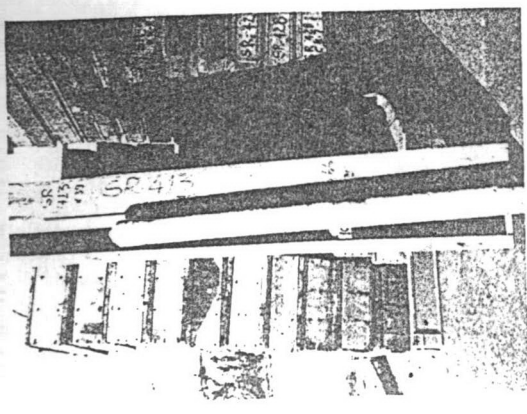


Fig. 6 - Sandstone core obtained by integral sampling

rock and on the nature of the engineering problem. Tests applicable to mudstones or marls may not be suitable for sandstones or deeply weathered granite, and tests which prove well for predicting the behaviour of rock blocks may not apply to quite confined situations.

The following groups of laboratory tests are most widely used:

Index tests

- Water absorption
- Density
- Porosity
- Point load
- Ultrasonic wave velocity (namely S waves)
- Schmidt hardness (no rebound for most weak rocks)

Durability tests

- Attrition loss (slake durability) No. 48.g (strain, stress)

Specific components (sulphides, etc.)

Mechanical tests ("design tests")

- Uniaxial compressive
- Triaxial strength and deformability
- Direct shear strength
- Oedometer compressibility and consolidation rate

Results from oedometer tests on very weak rocks do not generally supply reliable information since the diagenetic effect of the bonding elements move the preconsolidation yield point of the curve to a too high level of effective stress.

Many authors report on interesting correlations between some of the index properties listed and the mechanical behaviour of the rock material. As mentioned before, correlations between porosity of argaceous rocks (sedimentary and residual) and uniaxial compressive strength are frequent. In granitic very weathered and weak rocks good correlations have been established long ago between water absorption and uniaxial compressive strength, the higher the water absorption, the higher the degree of weathering and the lower the strength (Hamrol 1961). Micropetrographic analyses of thin sections are currently performed as well as electron microscopic studies and mineralogical analyses by x-ray diffraction and other methods. These techniques provide useful additional informations.

As a result of difficulties in adequately sampling weak rock materials, some times the correct characterization of their properties is only possible through the performance of in situ tests. Although such tests are generally conducted to assess the rock mass properties some of them can be useful to also assess rock material properties, provided no significant discontinuities occur in the tested volume. Examples are plate loading tests (0,3m to 0,5m in diameter) and dilatometer or pressometer tests conducted inside boreholes to define deformation

Several morphological features, the most important of which are continuous scarp, marine erosion at the toe of the scarp and the fall, from time to time of large rock blocks from the crest. This last process is very serious since blocks up to 200 m³ in volume and weighing 500 tonnes may fall directly on the Nazaré beach which is very popular and crowded in the summer. In addition, these rocks falls endanger the stability of the walkways and structures at the top.

After a large block fell in the late 1960s, the municipality expressed its concern about the situation and requested the assessment of the phenomenon, the analysis of the stability of the scarp and structures and the study of remedial measures to assure a significant delay of the geomorphological process (Nascimento et al. 1972).

The geological reconnaissance showed that morphology sketched in Fig. 8, resulted from differential erosion within the interbedded sequence. The thickly bedded Turonian limestone are much more competent than the underlying marls.

In order to understand the behaviour of these marks and to explain their much greater susceptibility to erosion, intact samples were carefully removed from the scarp and immediately sealed to prevent moisture loss.

The mineralogical composition of these samples was determined and they were subjected to various laboratory tests. Special reference is made in this paper to durability and mechanical tests which assisted with the understanding of the behaviour of these mudrocks. Since the clay component of the marls has a high proportion of smectites, the research was specifically oriented towards the study of the swelling properties of the samples. Two kinds of tests were carried out, one aiming at the determination of the swelling strain, and the other of the stress build up resulting from the uniaxial constraint of the swelling strain.

Fig. 9 shows the results of a swelling strain test on a marl specimen which has been previously oven dried. The test lasted 48 hours but after about 12 hours of soaking in water the extension (Fig. 8)

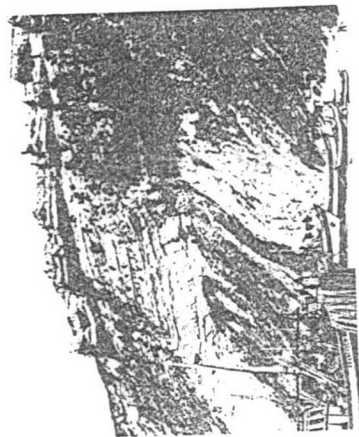


Fig. 7 - A view of the Nazaré scarp

tion properties and the anisotropy of the ground. In the case of homogeneous ground some types of logging (such as sonic and resistivity) may also give useful results concerning rock physical and mechanical properties.

4 - A CASE STUDY

In Portugal the occurrence of weak rocks of many types give rise to a variety of engineering problems. Mudrocks in particular, are a frequent cause of engineering difficulties such that many case studies could be reported as result of their behaviour.

It seems appropriate, within the context of this paper, briefly to describe and comment on one such problem, namely the stability of the crest of the scarp of Nazaré, on the central Portuguese Atlantic coast (Fig. 7).

This near vertical, south facing scarp is formed in a sequence of cretaceous sediments that dip approximately 15° NW. The upper part of the slope consists of Turonian limestones which overlie a series of interbedded Cenomanian marly limestones and marls. Fig 8 is a sketch of the geological conditions between approximately 90 and 100m.

The village of Sítio de Nazaré is situated at the top of the scarp. Many structures, walkways and viewing points are sited along the cliff edge.

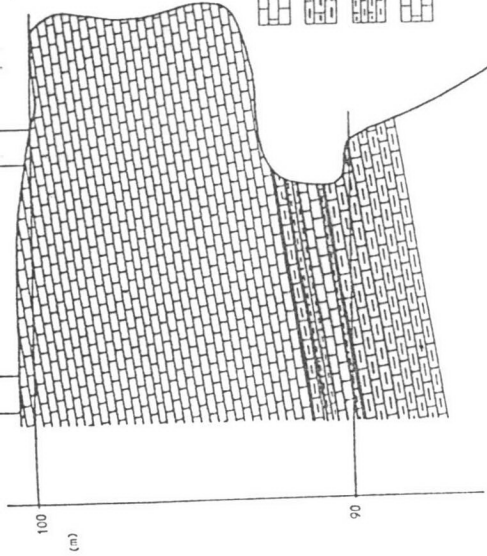


Fig. 8 - Geological section of the scarp crest

periented reached the maximum value of about 10⁻² showing a very high degree of swelling capacity. During the drying cycle which followed the sample recovered 95% of its swell strain after 24 hours of drying at room temperature. The water absorption was 8%.

The results indicated that, if constrained, this swelling capacity would generate significant stresses and cause fissuring of the rock material. In order to assess the order of magnitude of such stresses, uniaxial swelling stress tests were carried out using the same drying and soaking procedure as for the swelling strain tests but with the application of uniaxial stresses by means of a conventional loading machine (Fig. 10).

For the same marls, the highest swelling stresses reached 0.72 MPa. This compressive stress cause very heavy fracturing of the specimens such that the test could not proceed. Fig. 11 shows the fractures developed during the test well before the stresses reached their highest value. This type of fracturing and cracking is very similar to those observed at the free surface of the marly beds below the limestone overhang.

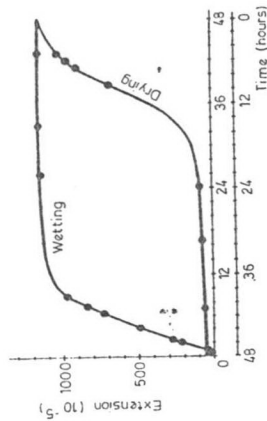


Fig. 9 - Swelling strain test on a marl

These results explain the relatively high erodibility of these mudrocks. In fact, due to natural confinement of the layers, the swelling of the marls is only possible at the surface of the scarp. The cycles of swelling and shrinking, as function of alternate natural wetting and drying of the rocks, create conditions for the development of microcracks which tend to cause fragmentation within a thin surface layer.

In dry sunny periods, which happen during months of the year, these marly fragments behave almost like sand grains in that they are easily eroded.

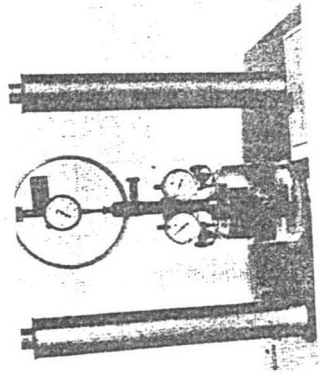


Fig. 10 - Swelling stress test arrangement

ded by southerly winds.

This study ended with the specifications of engineering works to prevent this erosion, drain the rock mass and support the largest cantilevers.

REFERENCES

- Deere, D.U. 1975. General report - Applied rock mechanics of weak materials. Proc. V. Pan. Conf. on Soil Mech. Found. Engg., 4: 479-492. Buenos Aires.
- Deere, D.U. & O.A. Vardé, 1986. General Report - Engineering geological problems related to foundations and excavations in weak rocks. Proc. 5th Cong. IAEG, 8: 2503-2518. Buenos Aires: Balkema.
- Delgado Rodrigues, J. 1990. Panel report on sub-theme "Problem materials" of the theme Construction materials. Proc. 6th Cong. IAEG. Amsterdam: Balkema.
- Dobereiner, L. 1989. Construction problems related to excavation on soft rock. General Report, Discussion Session 5, 12th Cong. ISSMFE, 4. Rio Janeiro: Balkema.
- Dobereiner, L., et al., 1990. Proceso de alteração em rochas argilosas de algumas formações brasileiras. Proc. 6th Cong. ABGE, Salvador.
- Dobereiner, L. & R. Oliveira, 1986. Site investigation on weak sand stone. Proc. 5th Cong.

Fig. 11 - Cracking of a marl during a swelling stress test

IAEG, 2: 411-421. Buenos Aires: Balkema.

ISRM, 1981. Basic geotechnical description of rock masses. ISRM Commission on Classification of Rocks and Rock Masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 18: 85-110.

ISSMFE, 1989. Report of the Technical Committee on soft rocks and indurated soils. Japanese Society of Soil Mechanics.

LNEC, 1976. Caracterização geotécnica dos terrenos de fundação da futura central nuclear do Ferrel. Internal report, LNEC, Lisboa.

Nascimento, U., et al., 1972. Estudos relativos à estabilização da escarpa da Nazaré. Internal report. LNEC. Lisboa.

Ojima, L. M. J. Delgado Rodrigues, 1983. Weathering of phyllite in Morgavel tunnel. Proc. of Symp. on Eng. Geol. and Under. Const., 1:11-114. LNEC, Lisboa.

Oliveira Campos, J., 1989. Adesagregabilidade dos siltos da formação Corumbati - Consequências práticas, fenomenologia provável e experimentação pertinente. Thesis, UNESP, Rio Claro.

Oliveira, R. 1988. Geotechnical characteristics required for concrete dam rock foundations. Proc. 16th Congress ICOLD, Question 62-3: 365-373.

Pecherich, J.A., 1986. Engineering Geological aspects of study of karst deposits. Proc. 5th Cong. IAEG, 2:637-641. Buenos Aires: Balkema.

Rocha, M. 1971. Método para amostragem integral de maciços rochosos. Memory nº 374. LNEC, Lisboa.

Rocha, M. 1977. Alguns problemas relativos à mecânica das rochas dos materiais de baixa resistência. Memory nº 491. LNEC, Lisboa.

M.E. Barton
Civil Engineering Department, University of Southampton, UK
L.D. Mockett
Southern Testing Laboratories (Western) Ltd, Wimborne, UK
S.N. Palmer
FINA plc., Epsom, UK

ABSTRACT: The paper proposes a material-based classification scheme for the widespread but rather neglected group of transitional materials between sands and hard rock sandstones. The basis of the classification is a distinction between uncemented materials which receive their strength from the development of "interlock cohesion" and cemented materials acquiring strength from bonding by authigenic minerals. A transitional group in which the interlock is augmented by syntaxial grain overgrowths is also recognized and given the name "overlocked sands and sandstones". Sub-divisions within these categories are distinguished according to the degree of interlocking in the locked and overlocked categories. A qualification is added dry uniaxial compressive strength in the cemented category. A qualification is added to the various classes to allow for the fine matrix content which is defined here as material < 20 µm grain size. The terms clean, matrix bearing and matrix rich are defined at matrix contents of less than 3%, 15% and 30% respectively. An important aspect of the proposed scheme is the ability to relate the materials to established sedimentary petrological classifications in addition to providing an engineering "feel". The paper concludes with examples chosen to illustrate each of the various categories, including "normal" sands, within the classification.

by Dusséault & Morgenstern in 1979. However, there is considerable uncertainty and confusion over both the application of this term and the boundaries of the category of materials to which it applies. A major objective of this paper is to resolve this problem by providing a system of classification which can be applied to the whole spectrum of arenaceous soil and rock materials.

The system proposed applies strictly to the material rather than the mass. Rock mass classification systems (such as the Rock Mass Rating System of Bieniawski 1988 and the Rock Material Field Classification Procedure of Kirkaldie et al. 1987) are designed to serve specific engineering applications. By contrast the system proposed here is designed to relate the material to established geological classifications as well as to a measurable engineering scale. It is intended to assist engineering geological research workers

1 CLASSIFICATION SYSTEMS

Widely known and well used systems of classification such as the Unified (Casagrade 1948) and British (Anon 1981) Soil Classification Systems, the Unified Rock Classification System (Williamson 1984; Williamson & Kuhn 1987) and the rock identification guide of BS 5930 (Anon 1981) are applicable to either engineering soils or engineering rocks. Borderline materials are generally less well served although there are schemes for argillaceous soils and rocks (Morgenstern & Eigenbrod 1974), sands and sandstones (Barnes & Dusseault 1982) and soft sandstones (Dobereiner & De Freitas 1986). The sand/sandstone borderline, like the soil/rock borderline in general, has been surprisingly neglected in the engineering geological literature. An important contribution to the study of arenaceous soils and rocks was the introduction of the term "locked sand"

block samples (Barton & Palmer, 1990). Four main, possible sources of cohesion in sands are illustrated in Fig. 1 and briefly described as follows.

3.1 Interlock cohesion

Natural uncemented sands having an interlocked microfabric with numerous pressure solution contacts (Siever 1959) possess true cohesion as is manifest by their tensile strength. The source of this cohesion is controversial.

Interlock in the sense of a jigsaw, such as can be created by syntaxial (that is, growing in crystallographic continuity) grain overgrowths, is a true cohesion but with some of the milder forms of interlock (for example, with the straight, or concavo/convex, contacts created by pressure solution) the action is more complex. Thus interlock (as defined by Taylor 1948) is a major component of the shear strength of dense granular soils and even at the very low normal stress level of the self-weight of a small specimen it can still generate significant shear resistance (Ponce & Bell 1971; Fukushima & Tatsuoka 1984). While it is generally considered that mild interlock alone will not generate a true cohesion without the operation of an additional factor (such as intergranular weldings, see below), it is nevertheless convenient to include both the jigsaw effect and the cohesion displayed by mild interlocking in the term "interlock cohesion".

3.2 Cementation

Direct cementation between the grains is an unequivocal source of true cohesion. The cause of the cementation is clearly recognizable with the presence of authigenic (that is, post depositional) introduced cements. However, to be effective it is necessary that the introduced material actually bonds detrital grains together and is not merely a pore filling. Thus Dusseault & Morgenstern (1979) pointed out that syntaxial grain overgrowths would not act as a bond unless they were in crystalline continuity. A conjectural source of cementation postulated by some authors (see Dapples 1972) is that of

in conjunction. This would involve cementing on a molecular (but remaining invisible at a microscopic) scale and could be the additional factor associated with grain interlocking. It is not currently possible to prove the existence of intergranular welding, let alone measure its contribution to cohesion, and for the purpose of this paper its possible influence is ignored.

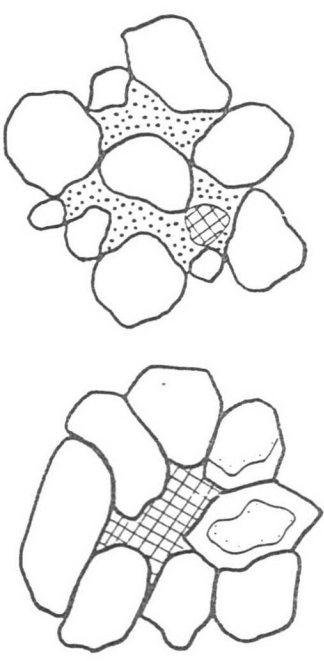
3.3 Clay matrix cohesion

The source of the cohesion in this case is taken to be a clay matrix when the cohesive strength of the clay also acts on the skeletal grains. Although it is a form of cementation it is sufficiently distinctive to be treated separately (Waldschmidt 1941). For a given sand, the cohesive resistance increases with the proportion and character of the clay matrix. The former is more significant and more readily assessed. The cohesive strength of the clay matrix will be subject to the same factors as those influencing clay soils (such as moisture content and consolidation characteristics). Similarly to clay soils, it can be assumed that even at oven dryness, the clay matrix will possess significant cohesive strength.

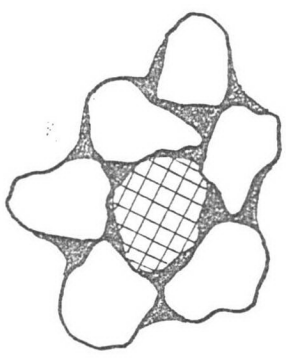
3.4 Suction cohesion

The moisture tension of water films in partly saturated sands is a definite source of cohesion (Haines 1925; Fisher 1926). The cohesion produced is a real quantity but nevertheless the effect has often been called an "apparent cohesion" (e.g. Taylor 1948; Terragni & Peck 1967). For a given sand, the magnitude varies with moisture content. In natural slightly silty, fine sands there is some evidence which suggests that the maximum cohesive strength is obtained at an optimum (but small) moisture content rather than at very low moisture contents where the moisture would be restricted to the matrix rather than influencing the skeletal grains. In purely granular materials at oven dryness, suction cohesion is assumed to be zero.

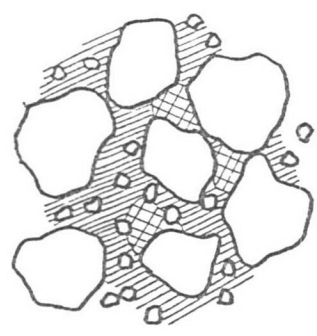
From a classificatory standpoint, the



1. INTERLOCK



2. CEMENTATION



3. CLAY MATRIX

4. PORE WATER

SUCTION

Fig. 1 Diagrams illustrative of the sources of cohesion in natural sands. Void spaces shown hatched, cementing by stipple, clay matrix by fine lines and pore water by shading. The sketch for the interlocked cohesion shows both pressure solution and syntaxial grain overgrowth contacts.

and those practitioners, especially in the Site Investigation industry, who need a means of evaluating and classifying, in some commonly accepted set of terms, a widely occurring but relatively neglected type of earth material.

2 OBJECTIVES

The objectives of the proposed system of classification may be summarized as follows.

1. To provide a classification for the complete spectrum of materials from normally consolidated sands to hard rock-like sandstones.
2. To define the concept of a "locked sand" and to relate both this and other

arenaceous soil/rock borderline materials to established sedimentary petrological classifications.

3. To ensure that the terminology remains simple, clear and easily applied to engineering practice.

3 COHESION IN SANDS

The most obvious and significant feature of the sand/sandstone borderline materials, in stark contrast to a heap of very recently deposited sand, is the presence of cohesion. The cohesion manifests itself in a small specimen as both a tensile and an unconfined compressive strength, and in the field as a very steep or vertical slope. Importantly, the cohesion enables the

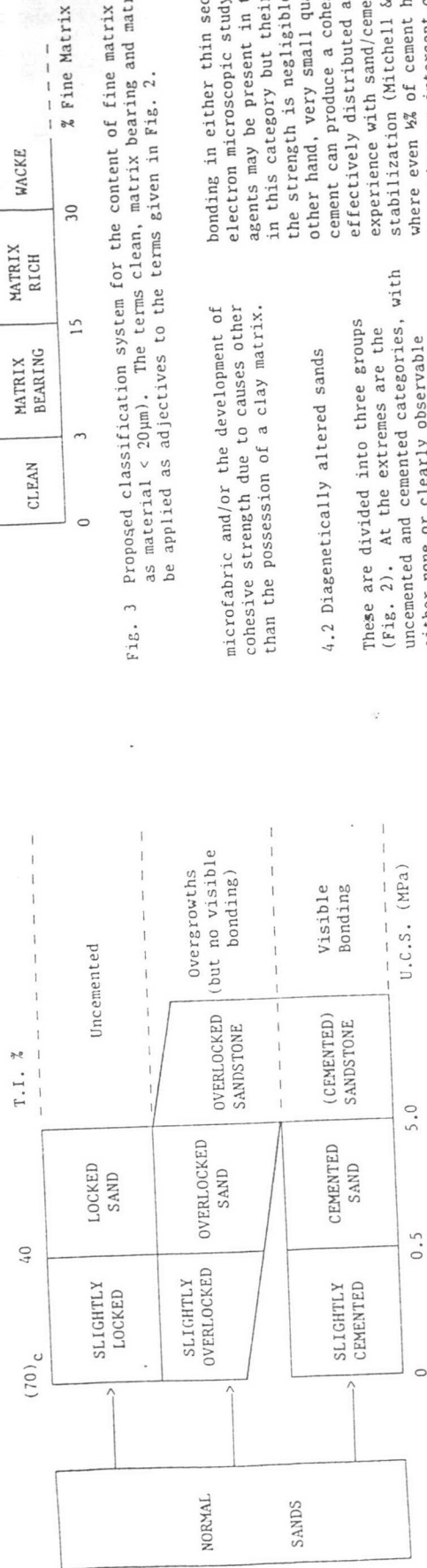


Fig. 2 Proposed classification system showing the tripartite division into the locked (uncemented), overlocked (containing syntaxial grain overgrowths but with no visible bonding) and cemented categories. The locked and overlocked sands are sub-divided according to the tangential index (T.I.), which is the percentage tangential contacts of all grain/grain contacts. The cemented category, and overlocked sand/overlocked sandstone boundary, is sub-divided according to the dry uniaxial compressive strength (U.C.S.).

4.1 Normal sands

The first step (Fig. 2) is a separation between "normal" sands and those which show a significant degree of diagenetic alteration. Normal (not to be confused with "normally" consolidated) sands will have neither the interlock cohesion produced by pressure solution and syntaxial grain overgrowths nor cementation from authigenic mineral bonding. Unless they possess a clay matrix, normal sands will be cohesionless. However, it is essential to recognize that nature provides a gradual transition from one category of material to another and hence the boundaries inevitably must be somewhat arbitrary. Thus the normal sand/ diagenetically altered sand boundary is really a transition involving which arise during diagenetic features which arise during the ageing of a sand (Mitchell & Solymar 1974). The qualification "significant" added to the degree of diagenetic alteration is intended to imply that there is a measurable element in the first three sources of cohesion relate to invariant aspects of the material and can be used qualitatively to distinguish different material categories. The fourth, suction cohesion, is controlled by the moisture state and must be ignored in material-based classification schemes. In dry geologically aged-sands which lack both mineral cements and a clay matrix, the cohesion will be solely due to interlocking. However, it should be noted that cemented sands, with or without a clay matrix, may possess some interlock cohesion in addition to their other sources of cohesion.

4 PROPOSED CLASSIFICATION SYSTEM

The proposed classification system is shown in Figs. 2 and 3. It is based on laboratory studies of high quality, undisturbed samples of the cohesive material. The various categories are divided according to their microfabric characteristics, compressive strength and particle size distribution.

4.1 Normal sands

The first step (Fig. 2) is a separation between "normal" sands and those which show a significant degree of diagenetic alteration. Normal (not to be confused with "normally" consolidated) sands will have neither the interlock cohesion produced by pressure solution and syntaxial grain overgrowths nor cementation from authigenic mineral bonding. Unless they possess a clay matrix, normal sands will be cohesionless. However, it is essential to recognize that nature provides a gradual transition from one category of material to another and hence the boundaries inevitably must be somewhat arbitrary. Thus the normal sand/ diagenetically altered sand boundary is really a transition involving which arise during diagenetic features which arise during the ageing of a sand (Mitchell & Solymar 1974). The qualification "significant" added to the degree of diagenetic alteration is intended to imply that there is a measurable element in the

first three sources of cohesion relate to invariant aspects of the material and can be used qualitatively to distinguish different material categories. The fourth, suction cohesion, is controlled by the moisture state and must be ignored in material-based classification schemes. In dry geologically aged-sands which lack both mineral cements and a clay matrix, the cohesion will be solely due to interlocking. However, it should be noted that cemented sands, with or without a clay matrix, may possess some interlock cohesion in addition to their other sources of cohesion.

The proposed classification system is shown in Figs. 2 and 3. It is based on laboratory studies of high quality, undisturbed samples of the cohesive material. The various categories are divided according to their microfabric characteristics, compressive strength and particle size distribution.

Fig. 3 Proposed classification system for the content of fine matrix (here defined as material < 20µm). The terms clean, matrix bearing and matrix rich should be applied as adjectives to the terms given in Fig. 2.

microfabric and/or the development of cohesive strength due to causes other than the possession of a clay matrix.

4.2 Diagenetically altered sands

These are divided into three groups (Fig. 2). At the extremes are the uncemented and cemented categories, with either none or clearly observable mineral bonding respectively, and an intermediate category containing authigenic material as syntaxial grain overgrowths. For clarity these three groups are referred to as the "locked", "overlocked" and "cemented" categories. Care needs to be exercised over the word "cement" since it is often used in geological literature to refer to all authigenic pore-filling material irrespective of whether or not it creates a definite bond between the detrital (or skeletal) grains. For engineering purposes it is preferable to restrict the term to only those cases where definite bonding is produced. Dusseault & Morgenstern (1979) studied materials (the Athabasca Oil Sands and the St. Peter Sandstone) rich in quartz overgrowths and came to the conclusion that there were no bonds between adjacent overgrowths. However, it is obvious that with increasing numbers and sizes of overgrowths such bonding is produced and that there is a complete transition from materials with few overgrowths to thoroughly cemented quartz arenites (McBride 1989). Hence the overlocked category introduced here is drawn on Fig. 2 in such a way as to represent both the separation from the cemented sand category when the overgrowths are few or small, and the link when with numerous or large overgrowths, there is a transition to well cemented sandstones.

Materials in the locked category (Barton et al. 1986) show no visible bonding in either thin section or electron microscopic study. Cementing agents may be present in trace amounts in this category but their influence on the strength is negligible. On the other hand, very small quantities of cement can produce a cohesive bond if effectively distributed as shown by experience with sand/cement stabilization (Mitchell & Freitag 1959) where even % of cement has been shown to produce an intercept cohesion (Dupas & Pecker 1979). No limiting values for percentages of authigenic cement can be given: the distinction between the locked, overlocked and cemented categories must be based on scientific judgement from study of good-quality thin sections. The presence of overgrowths is most readily observed using cathodo-luminescence (Sippel 1968) and scanning electron microscopy (Pittman 1972).

In the cemented category, the transition between normal sands and sandstones includes cemented sands. Although it has been proposed (Dobereiner & De Freitas 1986) that this spectrum should contain only grades of weak "sandstone", there is, nevertheless, a long tradition of the use of the term "cemented sands" (Peck et al. 1974; Saxena & Lastrico 1978; Clough et al. 1981; Chang et al. 1990) which justifies retention of this name. The cemented sand category serves to distinguish materials which have sufficient cement generated cohesion to behave differently from normal sands but which, because of their readiness to breakdown to their constituent particles, are clearly not "sandstones". Such materials tend to be classified on sandstone strength scales as "sands" but it is clear that an alternative name is needed to avoid confusing them with normal sands. The term "cemented sand" is particularly apt for those cases where the amount of cementing within a

The initial value of I.I. in a sand will depend on the sorting, grain shapes and deposited porosity. However, it is reasonable to expect a lower limit which is unlikely to be passed unless the sediment has experienced significant diagenetic change. Although there are relatively few values for "normal sands" available in the literature it is suggested that a T.I. of about 70% can be used to indicate that significant diagenetic change has occurred. This figure would indicate that other features indicative of pressure solution and/or overgrowths should be searched for.

It should be noted that Barnes & Dusseault (1982) selected degrees of diagenetic change on the basis of percentage porosity decrease. The weakness of their scheme (as with the use of T.I.) is that the original starting point is not known but it is considered to be much more sensitive to this error (especially at the lightly altered end of the scale) than the tangential index. Nevertheless, their categories 1, 2, 3 and 4 appear to correlate fairly well with the terms normal sands, slightly overlocked (or slightly locked), overlocked (or locked) sands and overlocked sandstone respectively.

6 CLASSIFICATION CRITERION NO. 2: UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

The uniaxial compressive strength test provides a convenient and reliable means of assessing the strength of small intact samples and has been used frequently for classificatory purposes (Hawkes & Mellor 1970). In the arenaceous materials considered here it should be carried out with fully drained conditions and hence, provide strengths in terms of effective stresses. Although it measures both frictional and cohesive components of strength, nevertheless some measure of cohesion is essential and tested in its undisturbed state. The inability for this to be done marks out the material as being cohesionless and hence classifiable as a normal sand (Fig. 2).

The dry uniaxial compressive strength, rather than microfabric characteristics, is used to subdivide the cemented

stratum varies rapidly from none to several percent (Saxena & Lastrico 1978).

The proposed classification allows for transitional materials between "normal" sands and the strongly diagenetically altered "locked, overlocked and cemented" sands. The transitional materials are slightly diagenetically altered and accordingly are given the adjective "slightly" (Fig. 2). The term "slightly locked" is thus substituted for the term "weakly locked" previously introduced (Barton et al. 1986, Barton & Palmer 1989 and 1990). The name "weak" is used in sandstone strength scales (for example, Anon 1981 and Dobreiner & De Freitas 1986) and hence confusion can arise with its continued use in this context. The adjective "slightly" is preferred as more clearly referring to the degree of diagenetic change (in respect of locking, overlocking or cementing). Precise boundaries within the classification system are obtained from the use of two classification criteria described below.

5 CLASSIFICATION CRITERION NO. 1: TANGENTIAL INDEX

The unbonded categories (the locked and overlocked groups) are distinguished from normal sands by their diagenetic microfabric. A specific feature of the microfabric namely the "tangential index" (Palmer & Barton, 1987) is used to separate them from normal sands and also to sub-divide the categories themselves (Fig. 2). The tangential index (T.I. %) is defined as the percentage of tangential contacts amongst all grain/grain contacts as determined in thin section (Siever 1959). T.I. % reduces with increasing degrees of pressure solution and numbers and sizes of grain overgrowths.

A value of 40% T.I. is selected as the separation for the slightly locked/locked sand and slightly overlocked/overlocked sand boundaries. This value has been found to separate Tertiary and Mesozoic uncemented sands in the U.K. and for clean members of this group shows a good correlation with the perpendicular uniaxial shear strength (Fig. 4). It appears to be a useful guide to the degree of pressure solution experienced by these sediments.

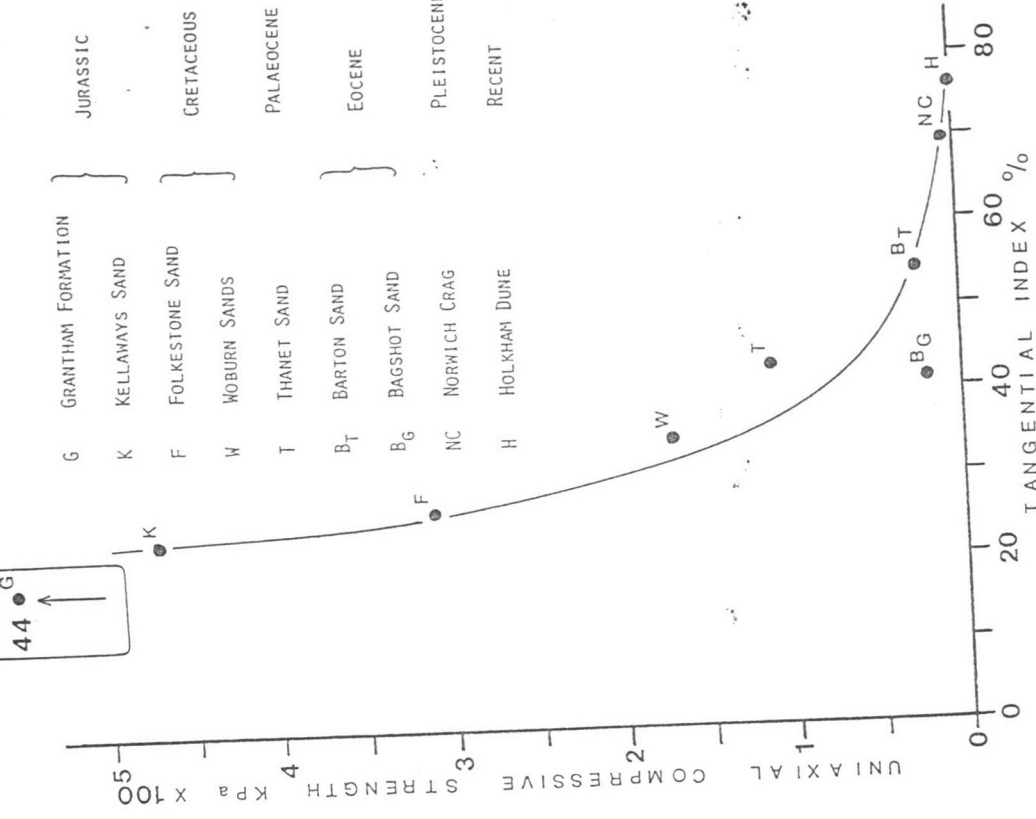


Fig. 4 Uncemented U.K. Mesozoic and Tertiary sands showing uniaxial compressive strength test results for 38mm dia. x 78 mm long samples orientated with the bedding perpendicular to the stress direction, plotted versus percentage Tangential index (that is % of tangential contacts amongst all grain/grain contacts).

relationship with strength (for example Bell 1978). It is clear also that the distribution of cement will be vital: thus for instance a poikilotopic distribution (Lucker 1981) will allow

shear planes to develop in uncemented material although must clearly constrain the orientation of these planes. Secondly, microfabric features resulting from compaction and pressure solution are inhibited by the presence of early cementing as has been shown in the Bridport Sand (Mockett, in prep.).

6.1 Moisture state

For standardization the tests should be carried out with controlled initial moisture contents since considerable differences can exist between the dry and saturated states (see, for instance, Colback & Wiid 1965; Bell 1978). Dobreiner & De Freitas (1986) suggested that samples of weak sandstone should be tested saturated. However, this is inappropriate for slightly cemented sands because they are highly prone to slaking and cannot be tested saturated by any conventional testing procedure. Dobreiner (1984) also noted that it is very difficult to test materials in a saturated state if their unconfined compressive strength is less than 0.5 MPa. Thus tests on saturated samples do not provide a ready means of investigating and classifying the sand/sandstone boundary materials. The solution to this problem is to test the samples dry. This practical solution to a laboratory problem provides a rapid and reproducible means of investigating the strength of samples intermediate to sand and sandstone.

Ideally, the dry tests should be carried out with the samples oven dry when there will be no residual suction cohesion to modify the results. In practice, samples absorb moisture rapidly from the atmosphere after removal from the oven and absolute dryness is difficult to ensure. However, the influence of the very small amount of moisture represented by the absorption experienced during 1 hour in a warm laboratory compared to complete dryness appears to be negligible in all but the very weakest sands and for practical purposes can be ignored.

6.2 Selected boundary values

The value of 5 MPa selected for the cemented sands/sandstone and over-locked

sand/over-locked sandstone boundary marks the approximate value below which a material is sufficiently friable to be reducible to a sand by gentle rubbing compared to materials requiring filing or hammer blows for their disintegration. Williamson (1984) suggests 7 MPa for this point in relation to his hammer reaction test but the International Society of Rock Mechanics (1978) selected 5 MPa as corresponding to the difference between producing either a shallow indentation or crumbling under hammer blows. The value of 5 MPa is also a recognisable reference point in being commonly used as a boundary in strength scales (Anon 1981, Dobreiner & De Freitas 1986, Geological Society 1970 and I.S.R.M. 1978). The value of 0.5 MPa selected for the slightly cemented/cemented sand boundary corresponds numerically with the value generally be considered as marking the soil/sandstone boundary in schemes using saturated strength (Dobreiner & De Freitas 1986).

A problem arises in that all the materials considered in this paper are anisotropic: large differences in cemented materials being reported by Dobreiner & De Freitas (1986) and Mockett (in prep.). For the purpose of classification it is questionable as to whether to use values from tests where the compressive stress is applied perpendicular to the bedding (the most usual orientation) or to use an average value from tests at two or more orientations. The latter would give a better guide to the nature of the material but in many cases only the perpendicular results may be obtained. In this latter case, therefore, the classification should be treated as preliminary pending further tests at other orientations.

7 MATRIX CONTENT

The principal qualification to be added to the categories shown in Fig. 2 is that dependent on the matrix content. The definition of matrix content has varied and although Pettijohn et al. (1971) favour 30µm, other schemes have used 50µm (Pettijohn 1943; Williams et al. 1969). It appears more logical, from the engineering standpoint, to set the boundary at 20µm which corresponds

to a boundary in the ESTADIMUSC M.I.T./I.S.S.M.F.E. grain size classification (Casagrande 1948): namely the medium/coarse silt boundary. The use of this boundary tends to correspond more often with changes in the shape of grading curves of natural sands and thus more naturally reflects a division between fine matrix and skeletal grains. The coarse silt category, when present in appreciable quantity, usually appears to be part of the skeletal framework rather than matrix.

The qualifications according to the <20µm matrix are as shown in Fig. 3, using the terms clean, matrix-bearing and matrix-rich to be applied as adjectives to the terms of Fig. 2. The boundary at 3% is selected as representing the approximate upper limit of many nearly "matrix-free" natural sands (Barton & Palmer 1989). According to Pettijohn et al. (1973), the boundary between arenite and wacke is placed at 15% fine matrix although they added a note of ambiguity in suggesting that "modern" sands could be qualified as "muddy" rather than called wackes if over this limit.

It is considered here that the boundary was set too low and invokes too frequent use of the term "wacke" which



Fig. 5 Photograph of a thin section of intact Barton Sand under crossed nicols showing the microfabric associated with slightly locked (uncemented) sand. In addition to straight contacts, the sand has developed some mild concave/convex contacts. Magnification x 140.

different kind of rock. Thus examples have been found in the Tertiary sands of Southern England where individual beds vary in matrix content from a few percent up to about 20%. In such cases it seems unreasonable to speak of interbedded arenites and wackes and would be completely out of keeping with traditional stratigraphic descriptions. Therefore, the boundary to a wacke is placed at 30% and the boundary at 15% retained to separate matrix-bearing from matrix-rich.

The matrix content will almost certainly include some clay fraction which will act as a source of clay matrix cohesion. Although strictly the clay size fraction should be used in preference to the <20µm fraction, the traditional qualification is in terms of silt plus clay. The total matrix content will influence other properties of the material including interlock cohesion, porosity and permeability and is thus also a significant quantity. In practice, the clay size fraction will probably relate to the total matrix content and therefore the latter becomes a good indication of the contribution of clay matrix cohesion to the overall strength of the material. A further factor to consider is that the clay minerals are likely to be aggregated to silt size particles and, in the older sands, may be recrystallised (Wilson & Pittman 1977).

7.1 Influence of fine matrix content on uniaxial strength

The influence of the fine matrix is to increase the strength of materials due to the addition of clay matrix cohesion. It would be unwise to quote actual increases as suitably comprehensive data are not available in the literature but, nevertheless, some allowance must be made for this. The effect is of less significance in the cemented materials than the weaker uncemented categories. In locked and slightly locked sands the effect can increase the uniaxial compressive strength several-fold and it is an important reason for not using strength as a classification criterion in the uncemented categories.

Sedimentary petrological classifications (see Pettijohn et al. 1973) consider the mineralogy of the detrital grains and cementing materials. A complete description could introduce appropriate qualifications in accordance with established sedimentological practice. Thus in respect of the detrital grains, the qualification could be quartzose, arkosic, calcareous, lithic or pyroclastic as appropriate. Similarly for the type of cement, the appropriate mineralogical qualifier is added as a prefix to the word cement (i.e. a calcareous cemented quartzose sand is written as such to avoid any confusion over the mineralogy). With mixed mineralogies, the terminology should follow the scheme given by Pettijohn et al. (1973).

9 EXAMPLES

9.1 Normal sands

The term "normal sands" in the proposed classification refers to sands which are without major diagenetic alteration. For most areas of the world this will include all late Pleistocene and Recent sands. It is accepted that even with such short time spans, some slight diagenesis can take place and influence the engineering properties as observed in alluvial sands by Seed (1979) and Ishihara (1985). In the case of some densified alluvial sands, Mitchell & Solymar (1984) considered incipient cementing may occur and it follows that there is a fine line to be drawn between the categories of normal and slightly cemented sands. Nevertheless, it is highly unlikely that any significant interlocking due to pressure solution can develop in such recent sands and therefore they will not fall into the slightly locked category.

Normal sands can possess clay matrix cohesion. Examples of Pleistocene sands from Japan possessing appreciable quantities of fine matrix were able to be block sampled and tested undisturbed by Tohno (1977), giving unconfined compressive strengths at natural moisture content up to 0.8 MPa. Other examples of relatively recent "normal"

are the collapsing sands of arid and semi-arid regions and the product of either aeolian or flood-wash deposition (Dudley 1970). Examples of such matrix-bearing sands from Botswana have been examined by Mockett & Barton (1990). They are relatively loose in their in-situ state, have a T.I. of around 80%, possess up to 9% clay size fraction and yield uniaxial compressive strengths up to 0.13 MPa.

9.2 Locked category

Examples of slightly locked sands are the Tertiary sands of Southern England described (under the name "weakly, or partially", locked sands) in Barton et al. (1986), Barton & Palmer (1990). They are mostly uncemented but in thin section show clear signs of pressure solution producing an interlocked microfabric with values of T.I. down to 43% (Fig. 5). They possess sufficient cohesion to permit block sampling and undisturbed testing, giving uniaxial strengths as shown in Fig. 4.

Examples of locked sands are provided by the uncemented Mesozoic sands of Southern England. These are mainly shelf sands with relatively small depths of burial but which have, nevertheless, experienced considerable pressure solution and have values of T.I. down to 18% (Palmer & Barton 1987). They are markedly anisotropic and at some orientations dry uniaxial compressive strengths up to 4.4 MPa have been measured. While, in theory, a very low porosity and consequent high interlock strength beyond the 5 MPa limit could be achieved purely by pressure solution alone, such rocks have not yet been found.

9.3 Overlocked category

The Athabasca Oil Sand (Cretaceous) and St. Peter Sandstone (Ordovician) described by Dusseault & Morgenstern (1979) possess an interlocked fabric as a result of both pressure solution of grain contacts and syntaxial grain overgrowths. Thus they are members of the overlocked category. The Athabasca Oil Sand is also, in part, a matrix rich overlocked sand since it possesses a

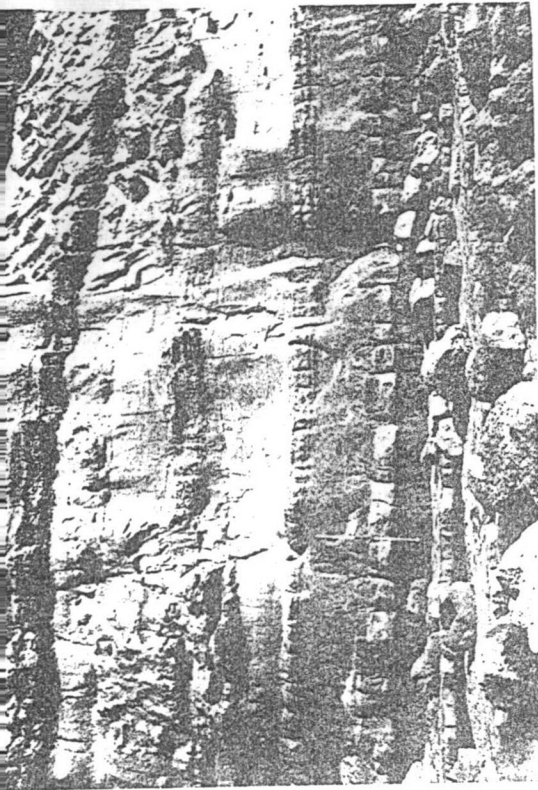


Fig. 6 Photograph of cliff base at West Bay (Dorset) showing an exposure of the Bridport Sand. Beds of "friable sand" (cemented sand in the classification system proposed here) alternate with beds and lenses of calcareous cemented sandstone. The patterning seen at the top right is believed to be due to differential weathering. Scale is provided by a ranging rod with 305 mm divisions.

considerable amount of clayey and silty matrix in addition to bituminous material.

Examples of overlocked sandstones are the Loch Aline Sandstone (Cretaceous) of Argyll and, probably, the St. Peter Sandstone (Ordovician) which is locally very rich in quartz overgrowths (Odom et al. 1979). Beds within the Loch Aline Sandstone which are particularly rich in quartz overgrowths have uniaxial compressive strengths up to 140 MPa (Mockett, in prep.).

9.4 Cemented category

The slightly cemented category comprises those materials which have very low cement contents but which, nevertheless, impart sufficient bonding to give measurable unconfined strengths. Mitchell & Solymar (1984) suggested ways in which such cementing can be introduced. Calcareous sands of biogenic origin have very variable

cement contents and clearly some of them enter this category (Murff 1987).

Examples of the cemented sand category are the shallow marine sands of the Californian coast near San Francisco described by Clough et al. (1981). These have variable amounts of silica cement and uniaxial compressive strengths (drained tests at natural moisture content) ranging from 0.5 to 2.0 MPa. The $20\ \mu\text{m}$ matrix content places these sands in the clean to matrix bearing classes and it is notable that the matrix bearing members are stronger than the clean cemented sands.

Examples of cemented sandstones are abundantly described in the literature (see, for instance, Bell 1978, and Doberiner & De Freitas 1986). Of especial interest in respect of their engineering characteristics are formations with rapid or rhythmic alternations in cement content. The Bridport Sand is such a formation as shown in Fig. 6. It contains alternations between what is known as a

cohesion developed by capillary forces in an ideal soil. *Journal of Agricultural Science* 15, 529-35.

Hawkes, I. & Mellor, M. 1970. Uniaxial testing in rock mechanics laboratories. *Engineering Geology* 4, 177-285.

International Society of Rock Mechanics 1978. Suggested methods for the quantitative descriptions of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science* 15, 319-68.

Ishihara, K. 1985. Stability of natural deposits during earthquakes. *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering*, San Francisco: 1, 321-76.

Kantorowicz, J. D., Bryant, I. D. & Dawans, J. M. 1987. Controls on the geometry and distribution of carbonate cements in Jurassic sandstones: Bridport Sands, Southern England and Viking Group, Troll Field, Norway. In Marshall, J. D. (Ed.) *Diagenesis of Sedimentary Sequences*, Geological Society Special Publication No. 36, 103-18.

Kirkaldie, L., Williamson, D. A. & Patterson, P. V. 1987. Rock material classification procedure. *Technical Release No. 71*, 2nd Edition, United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service.

McBride, E. F. 1989. Quartz cement in sandstones: a review. *Earth Science Reviews* 26, 69-112.

Mitchell, J. K. & Freitag, D. R. 1959. A review and evaluation of soil-cement pavements. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 85, 49-73.

Mitchell, J. K. & Solymar, Z. V. 1984. Time dependent strength gain in freshly deposited or densified sand. *Journal of Geotechnical Engineering (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 110, 1559-76.

Mockett, L. D. & Barton, M. E. 1990. Report on the engineering geological characteristics of sand samples from the Serowe-Orapa Road, Botswana. *Civil Engineering Department Report*, University of Southampton on behalf of the Transport and Road Research

S.S. 1990. Micromechanical modelling of cemented sands under low amplitude oscillations. *Geotechnique* 40, 251-64.

Clough, G. W., Sitar, N., Bachus, R. C. & Rad, N. S. 1981. Cemented sands under static loading. *Journal Geotechnical Engineering Division (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 107, 799-817.

Colback, P. S. B. & Willd, B. L. 1965. The influence of moisture content on the compressive strength of rocks. *Proceedings of the Rock Mechanics Symposium, Toronto 65-83*.

Dapples, E. C. 1972. Some concepts of cementation and lithification of sandstones. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 56, 3-25.

Davies, D. K. 1967. Origin of friable sandstone-calcareous sandstone rhythms in the Upper Lias of England. *Journal of Sedimentary Petrology* 37, 1179-88.

Dobereiner, L. 1984. *Engineering geology of weak sandstones*. Ph.D. Thesis, University of London.

Dobereiner, L. & De Freitas, M. H. 1986. Geotechnical properties of weak sandstones. *Geotechnique* 36, 79-94.

Dudley, J. H. 1970. Review of oil seeping soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 96, 925-47.

Dupas, J. M. & Pecker, A. 1979. Static and dynamic properties of sand-cement. *Journal of the Geotechnical Engineering Division (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 105, 419-36.

Dusseault M. B. & Morgenstern, N. R. 1979. Locked sands. *Quarterly Journal Engineering Geology* 12, 117-31.

Fisher, R. A. 1926. On the capillary forces in an ideal soil; correction of formulas by W. B. Haines. *Journal of Agricultural Science* 16, 492-505.

Fukushima, S. & Tatsouka, F. 1984. Strength and deformation characteristics of saturated sand at extremely low pressures. *Soils and Foundations (Japanese Society of Soil Mechanics & Foundation Engineering)* 24, 30-48.

Geological Society. 1970. The locking of rock cores for engineering purposes. *Quarterly Journal Engineering Geology* 13, 901-30.

with standard sedimentological nomenclature.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank Mr. Richard Harkness for helpful discussion concerning the sources of cohesion in natural sands and Mr. Nick Richards for a resumé of his work on the Lower Greensand.

Acknowledgements are also due to the Science and Engineering Research Council for financial support afforded while some of the studies were being carried out.

REFERENCES

Anon 1981. Code of Practice for Site Investigations, BS 5930. British Standards Institution.

Barton, M. E., Palmer, S. N. & Wong, Y. L. 1986. A geotechnical investigation of two Hampshire Tertiary Sand Beds: are they locked sands? *Quarterly Journal Engineering Geology* 19, 399-412.

Barton, M. E. & Palmer, S. N. 1989. The relative density of geologically aged British fine and fine-medium sands. *Quarterly Journal Engineering Geology* 22, 49-58.

Barton, M. E. & Palmer, S. N. 1990. The geotechnical investigation of geologically aged, uncemented sands by block sampling. *Proceedings of the 6th Congress of the International Association of Engineering Geology, Amsterdam*, 1, 281-8.

Barnes, D. J. & Dusseault, M. B. 1982. The influence of diagenetic fabric on oil sands behaviour. *Canadian Journal of Earth Sciences* 19, 804-18.

Bell, F. G. 1978. The physical and mechanical properties of the Fell Sandstones, Northumberland, England. *Engineering Geology*, 12, 1-29.

Bieniaswski, Z. T. 1988. The rock mass rating (RMR) system (geomechanics classification) in engineering practice, in L. Kirkaldie (ed.): *Rock Classification Systems for Engineering Purposes*, American Society for Testing Materials STP 984, 17-34.

Casagrande, A. M. 1948. Classification and identification of soils. *Transactions American Society of Civil Engineers* 113, 901-30.

10 CONCLUSIONS

1. A classification scheme to cover the transitional materials between sand and sandstone has been drawn up and is shown in Figs. 2 and 3.

2. The initial step is a separation between "normal sands" and those showing a significant (or measurable) degree of diagenetic alteration such as pressure solution contacts, grain overgrowths and/or bonding by authigenic cements.

3. The diagenetically altered sands are divided into three categories: (i) uncemented, (ii) with syntaxial grain overgrowths and (iii) with mineral bonding and are called the locked, overlocked and cemented categories respectively.

4. The overlocked category will behave as uncemented materials where the overgrowths are few or small but will show a transition to the cemented category as overgrowths become more numerous and larger.

5. Sub-divisions within the locked and overlocked categories, and also their boundary with normal sands, are located with respect to the tangential index. Sub-divisions in the cemented category, and also the overlocked sand/overlocked sandstone boundary, is based on the dry uniaxial compressive strength.

6. The < 20 µm matrix content should be determined and providing it is less than 30% should be used as a qualifier as indicated by the terms given in Fig. 3.

7. Further petrological study of special grains and cementing materials, where present, will allow further

FG. Bell

Department of Geology and Applied Geology, University of Natal, Durban, South Africa

M.G. Culshaw

Engineering Geology and Geophysics Group, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK

Seed, H. B. 1979. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes. *Journal of the Geotechnical Engineering Division (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 105, 201-255.

Siever, R. 1959. Petrology and geochemistry of silica cementation in some Pennsylvania Sandstones. In Ireland, H. A. (Ed.) *Silica in Sediments, Society of Economic Palaeontologists & Mineralogists Special Publication* 7, 56-79.

Sippel, R. F. 1968. Sandstone petrology, evidence from luminescence petrography. *Journal of Sedimentary Petrology* 38, 530-54.

Taylor, D. W. 1948. *Fundamentals of Soil-Mechanics*. John Wiley & Sons, New York pp. 700.

Terzaghi, K. & Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, p. 729.

Tohno, I. 1977. Methods to evaluate quality of undisturbed samples of sands. Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering: Speciality Session No. 2, Soil Sampling 29-35.

Tucker, M. E. 1981. *Sedimentary Petrology: An Introduction*. Blackwell Scientific Publications, Oxford pp. 252.

Waldschmidt, W. A. 1941. Cementing materials in sandstones and their probable influence on migration and accumulation of oil and gas. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 25, 1837-79.

Williams, H., Turner, F. J. & Gilbert, C. M. 1954. *Petrography*. Freeman, San Francisco.

Williamson, D. A. 1984. Unified rock classification system. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* 21, 345-54.

Williamson, D. A. & Kuhn, C. R. 1988. The unified rock classification system. In Kirkaldie, L. (Ed): *Rock Classification Systems for Engineering Purposes*, American Society for Testing Materials, STP 984, 7-16.

Wilson, M. D. & Pittman, E. D. 1977. Authigenic clays in sandstone: recognition and influence on reservoir properties and palaeoenvironment analysis. *Journal of Sedimentary Petrology* 47, 3-3.

Laboratory, Bracknell. Wockett, L. D. (in prep.). Research on the engineering geological characteristics of the Bridport and Loch Aline Sandstones.

Morgenstern, N. R. & Eigenbrod, K. 1974. Classification of argillaceous soils and rocks. *Journal of the Geotechnical Engineering Division (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 100, 1137-56.

Murff, J. D. 1987. Pile capacity in calcareous sands: state of the art. *Journal of the Geotechnical Engineering (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 113, 490-507.

Odom, I. E., Willard, T. N. & Lassin, R. J. 1979. *Paragenesis of diagenetic minerals in the St. Peter Sandstone (Ordovician) of Wisconsin and Illinois*. In Scholle, P. A. & Schluger, P. R. (Eds.) *Aspects of Diagenesis*, Special Publication No. 26, Society of Economic Palaeontologists & Mineralogists, 425-43.

Palmer, S. N. & Barton, M. E. 1987. Porosity reduction, microfabric and resultant lithification in U.K. un cemented sands. In Marshall, J. D. (Ed.) *Diagenesis of Sedimentary Sequences*, Geological Society Special Publication 36, 29-40.

Peck, R. B., Hanson, W. E. & Thornburn, T. H. 1974. *Foundation engineering*, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., New York 514 pp.

Pettijohn, F. J. 1943. *Archaeal sedimentation*. Bulletin of the Geological Society of America 54, 1955-72.

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. 1973. *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, Berlin pp. 618.

Pittman, E. D. 1972. Diagenesis of quartz in sandstones as revealed by scanning electron microscopy. *Journal of Sedimentary Petrology* 42, 507-19.

Ponce, V. M. & Bell, J. M. 1971. Shear strength of sand at extremely low pressures. *Journal of the Soil Mechanics & Foundations Division (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 97, 625-38.

Saxena S. K. & Lastrico, R. M. 1978. Static properties of lightly cemented sand. *Journal of the Geotechnical Engineering Division (Proceedings, American Society of Civil Engineers)* 104, 1449-64.

ABSTRACT: Samples of sandstone from the Lenton Sandstone and Nottingham Castle Sandstone Formations of the Sherwood Sandstone Group were obtained from near Edwinstowe in Nottinghamshire and subjected to a series of geotechnical tests. These included determination of particle size, density, porosity, degree of saturation, moisture content, intergranular permeability, compressive strength, tensile strength, hardness, Young's modulus and Poisson's ratio.

In the Sherwood Sandstone Group, there is a tendency for the density to increase and porosity to decrease with increasing depth. The compressive strength and Young's modulus tend to have reasonable correlations with density and porosity, and their correlation with tensile strength is good. Correlation of compressive strength with Young's modulus was significant and the modulus ratio of most samples was average, with deeper samples falling within the high category. Saturation was found to reduce the strength of samples appreciably and saturation moisture content had an important influence upon strength. Packing density was assessed and compared with some of the geotechnical properties; however, the relationships usually did not prove significant.

engineering classification schemes. Whilst the samples tested came from depths that are not relevant to most engineering applications, these rocks are found at, or close to, the surface elsewhere in the English Midlands.

2 GEOLOGY

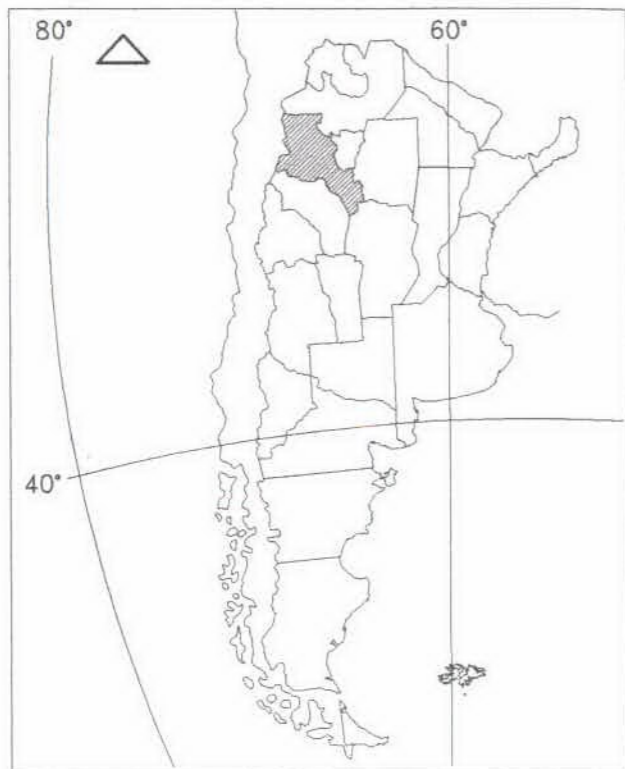
The Sherwood Sandstone Group in Nottinghamshire is comprised of the Lenton Sandstone Formation (LSF) (formerly the Lower Mottled Sandstone) and the overlying Nottingham Castle Sandstone Formation (NCSF) (formerly the Bunter Pebble Beds). The Lenton Sandstone Formation consists of sandstones which are generally poorly cemented and contain lenses of mudstone and siltstone, and occasional gravely horizons. The sandstones are fine to medium grained and are deep red in colour. Their former name derived from their yellow mottling. The maximum thickness is found in the Mansfield area where they are approximately 30 m thick.

The Nottingham Castle Sandstone Formation is some 65 m in thickness around Nottingham and thins out northwards so that in the

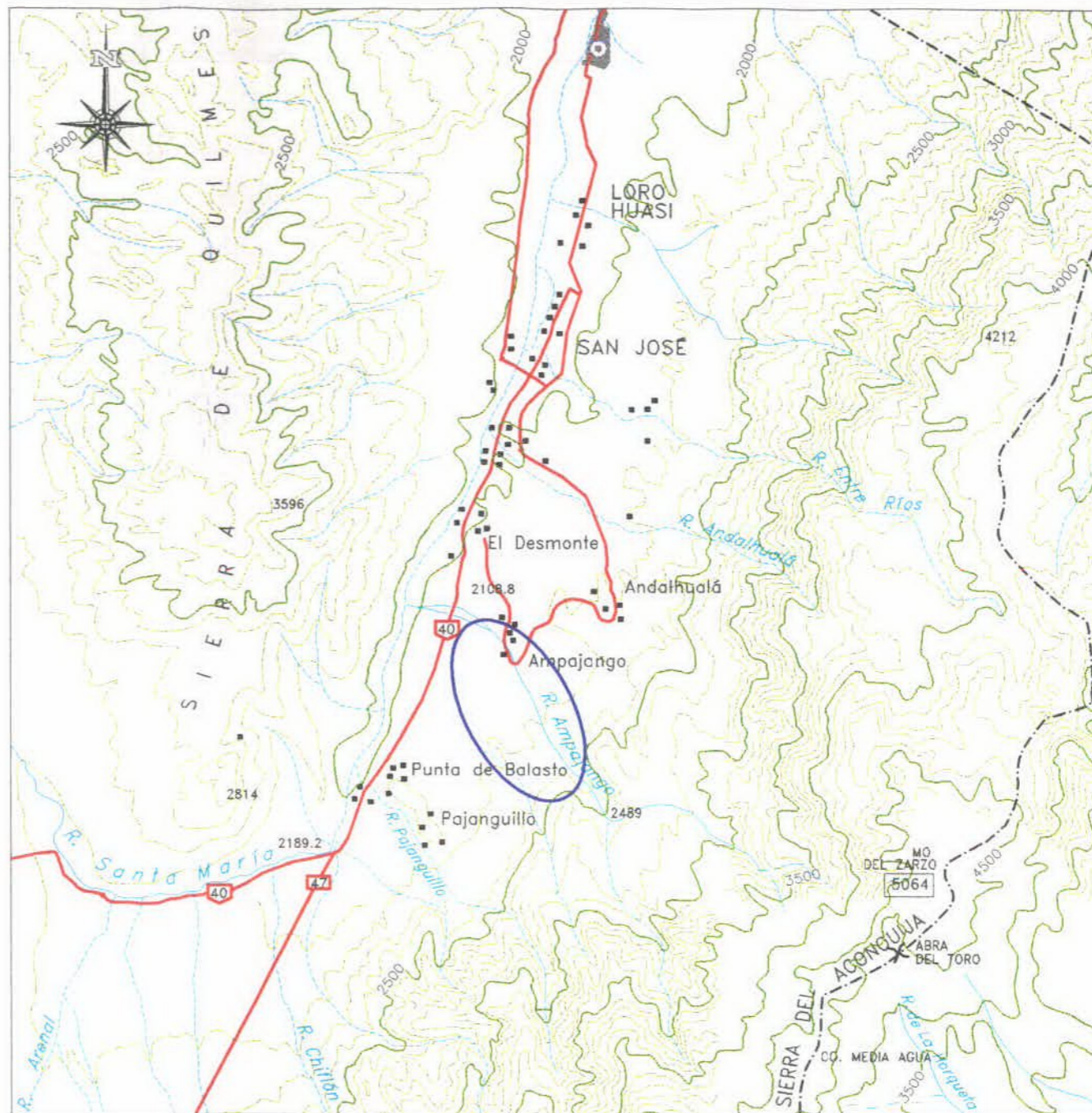
ANEXO V

PLANOS

CATAMARCA: SITUACION RELATIVA



CATAMARCA: SITUACION DEPARTAMENTAL



ESCALA ORIGINAL
1:250.000



CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROVINCIA DE CATAMARCA

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO
HIDRAULICO DEL RIO AMPAJANGO
DEPARTAMENTO SANTA MARIA – PROVINCIA DE CATAMARCA

UBICACIÓN DEL PROYECTO

DIBUJO: TEC. HUGO SECO

ESTUDIOS: Geol. R. CERESOLE

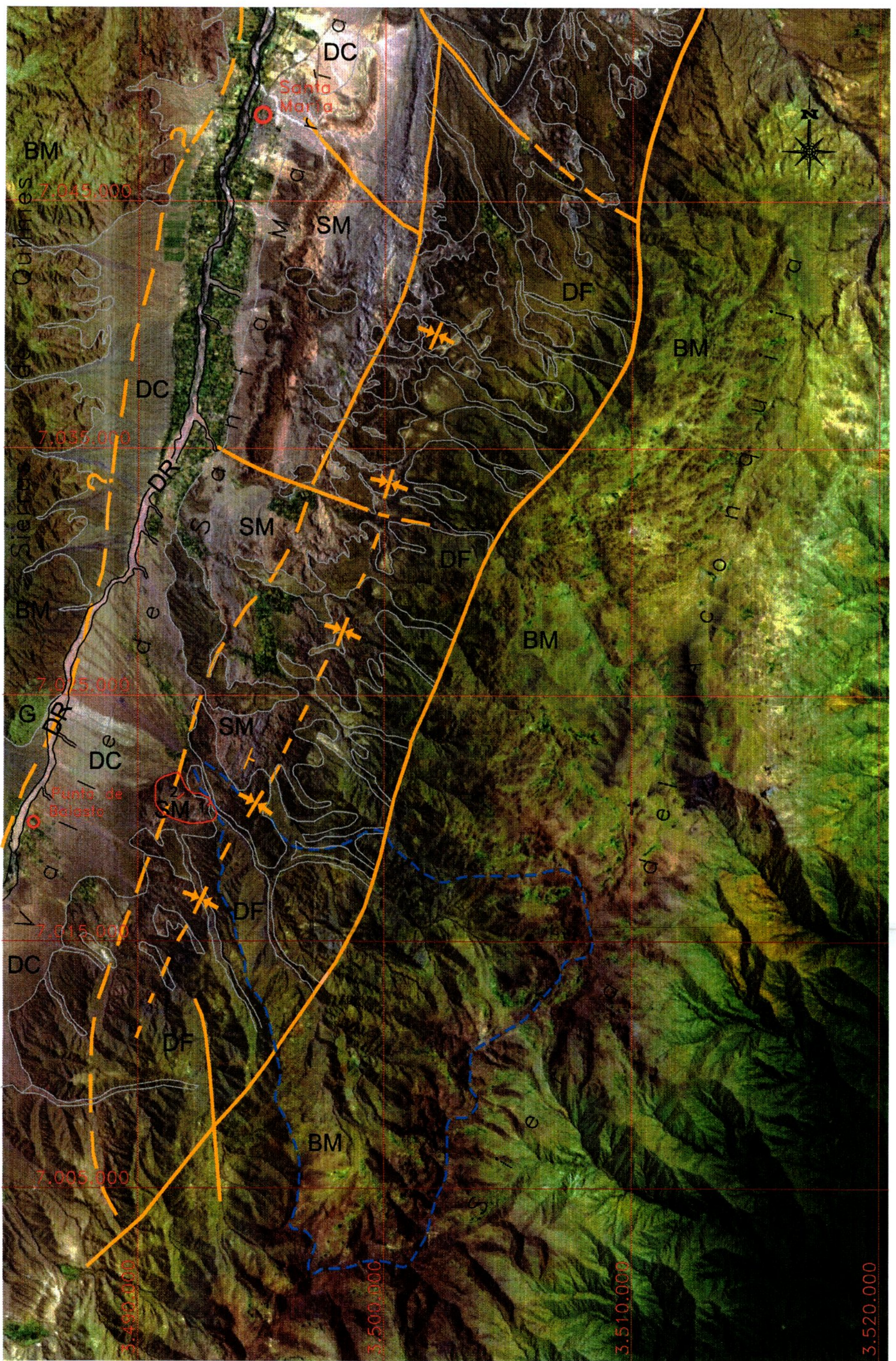
FECHA: DICIEMBRE/2004

ESCALA ORIGINAL:
indicada

Geólogo Raúl Ceresole

PLANO N°

PA – IF – 01



REFERENCIAS

CUARTARIO

- DR** Fm. Las Mojarras - Depósitos Recientes del cauce actual del Río Santa María y afluentes.
- DC** Fm. Caspichango - Depósitos de Acarreo Fanglomerádicos del 3° nivel. Conos de Deyección.
- DF** Fm. Las Salinas
Fm. La Mesada - Depósitos de Acarreo Fanglomerádicos de 2° y 1° nivel.

TERCIARIO

- SM** Grupo Santa María - Sedimentitas Clásticas plegadas y fracturadas.

PRECAMBRICO

- BM** Basamento Metamórfico de alto grado, migmatitas y Granitos. (G)
- Falla Observada
- Falla Supuesta (A)
Falla Cubierta (B)
- Rumbo e inclinación de estratos
- Eje Sinclinal
- Cuenca Río Ampajango
- Cuenca de Embalse
1- Zona de derivación
2- Zona de cierres

ESCALA ORIGINAL
1:150.000



CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROVINCIA DE CATAMARCA

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO
HIDRAULICO DEL RIO AMPAJANGO
DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA

CARACTERIZACION
GEOLÓGICA REGIONAL

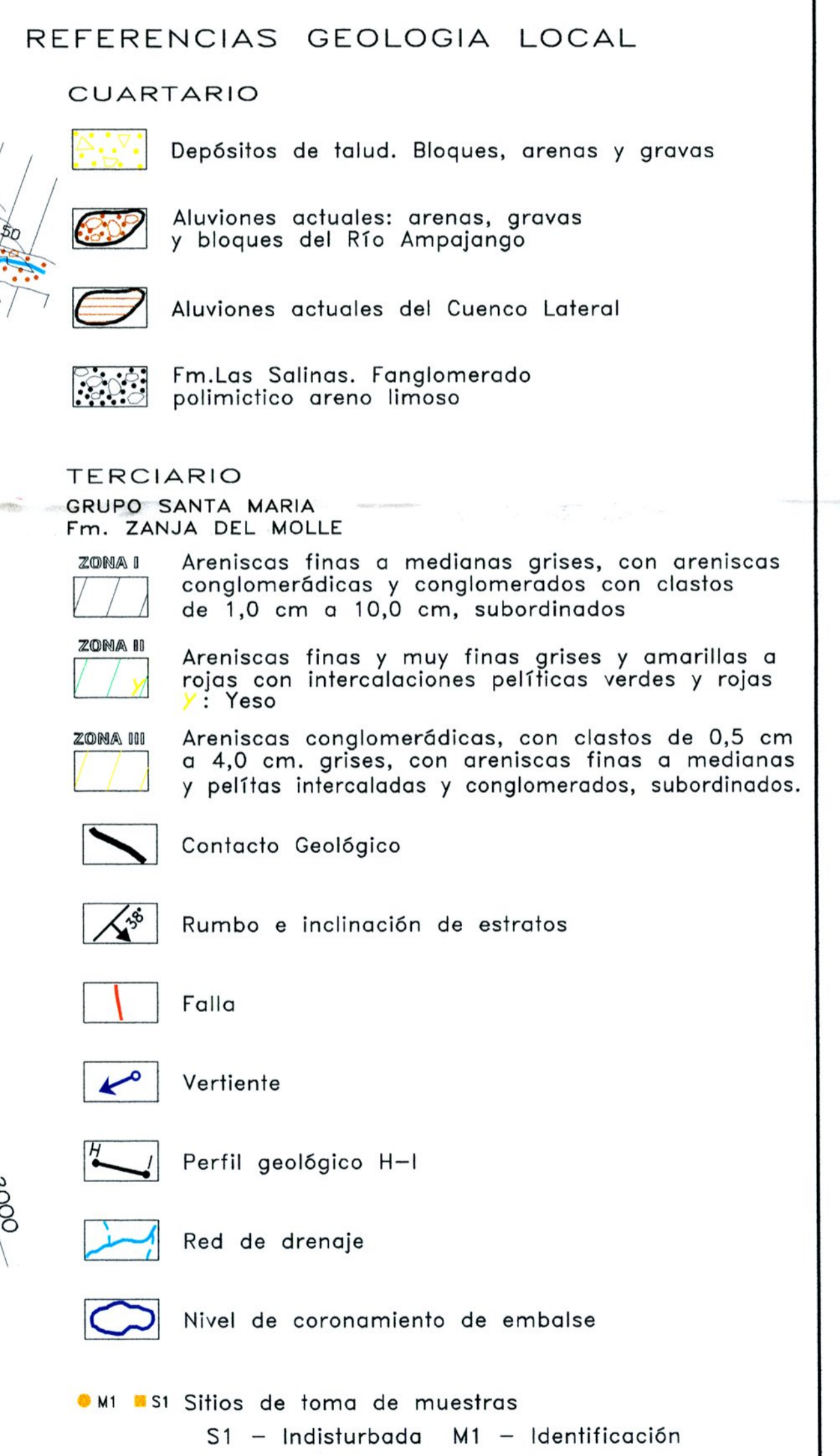
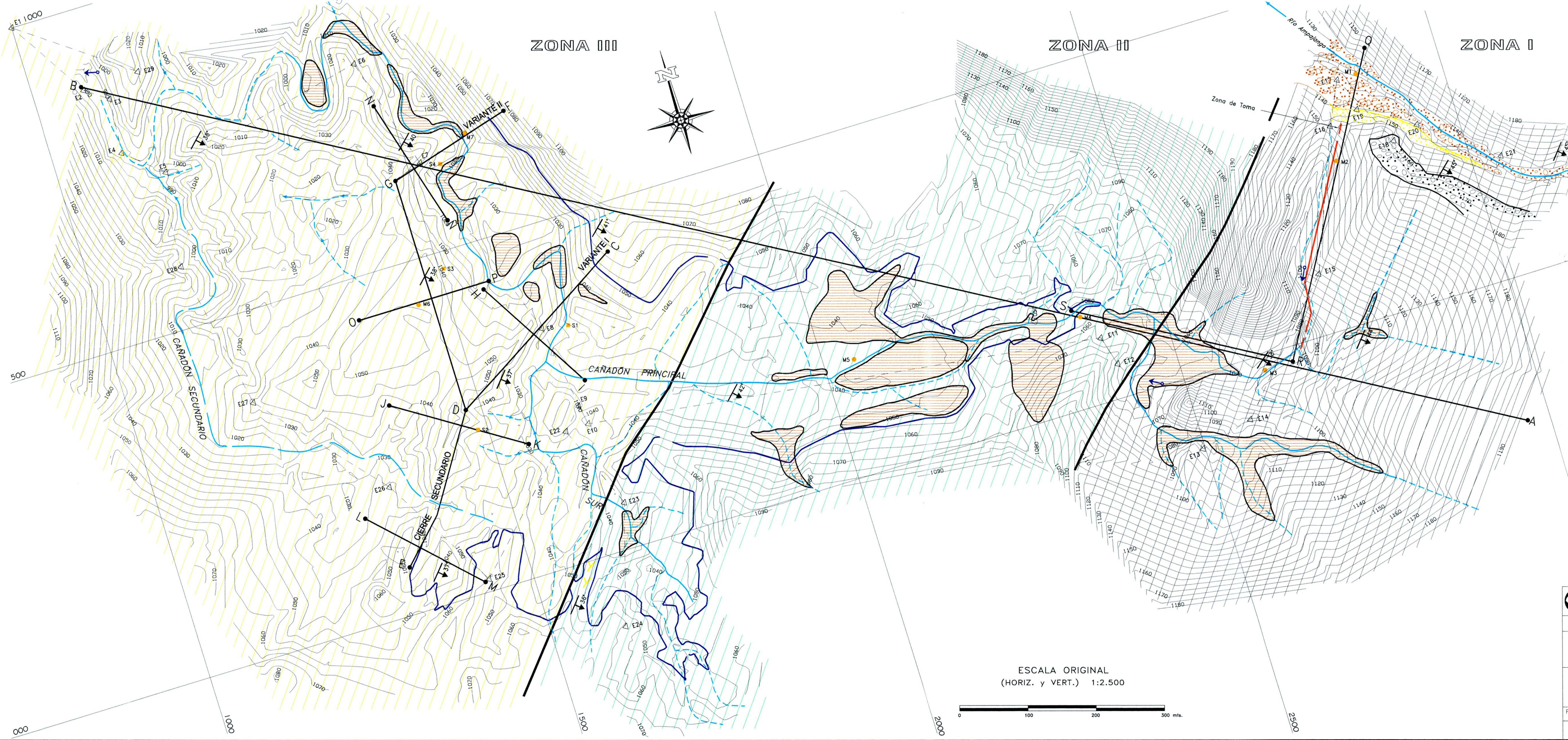
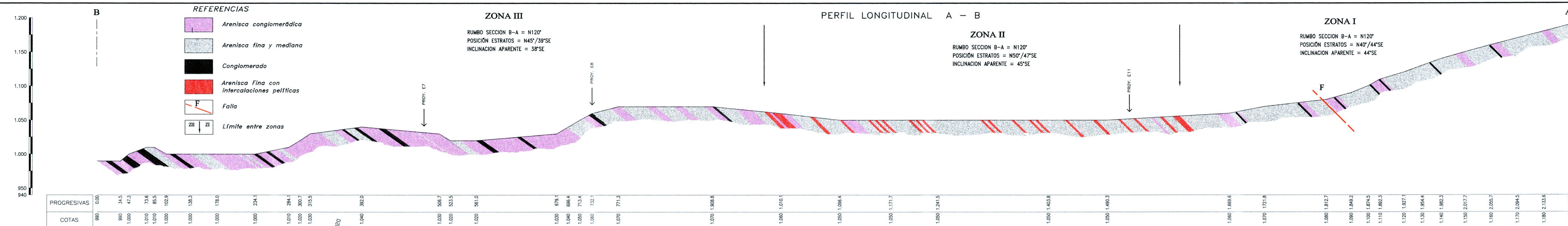
DIBUJO: TEC. HUGO SECO

ELABORO: Geol. R. CERESOLE

FECHA: DICIEMBRE/2004 ESCALA ORIGINAL: 1:150.000

Geólogo Raúl Ceresole

PLANO N° PA-IF-02



CFI CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROVINCIA DE CATAMARCA

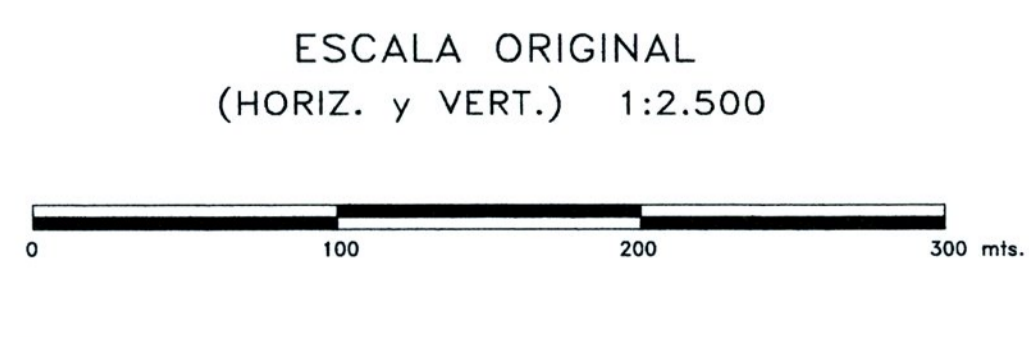
ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO DEL RIO AMPAJANGO
DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA

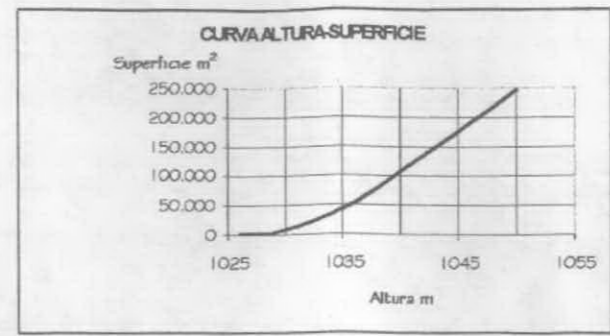
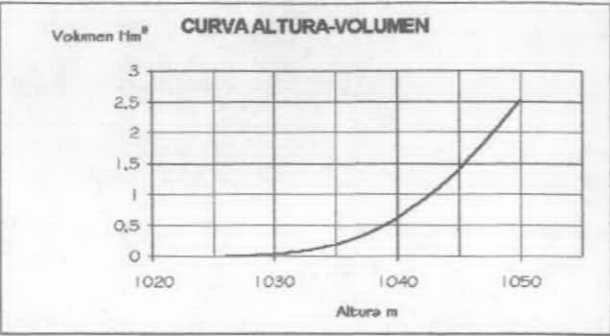
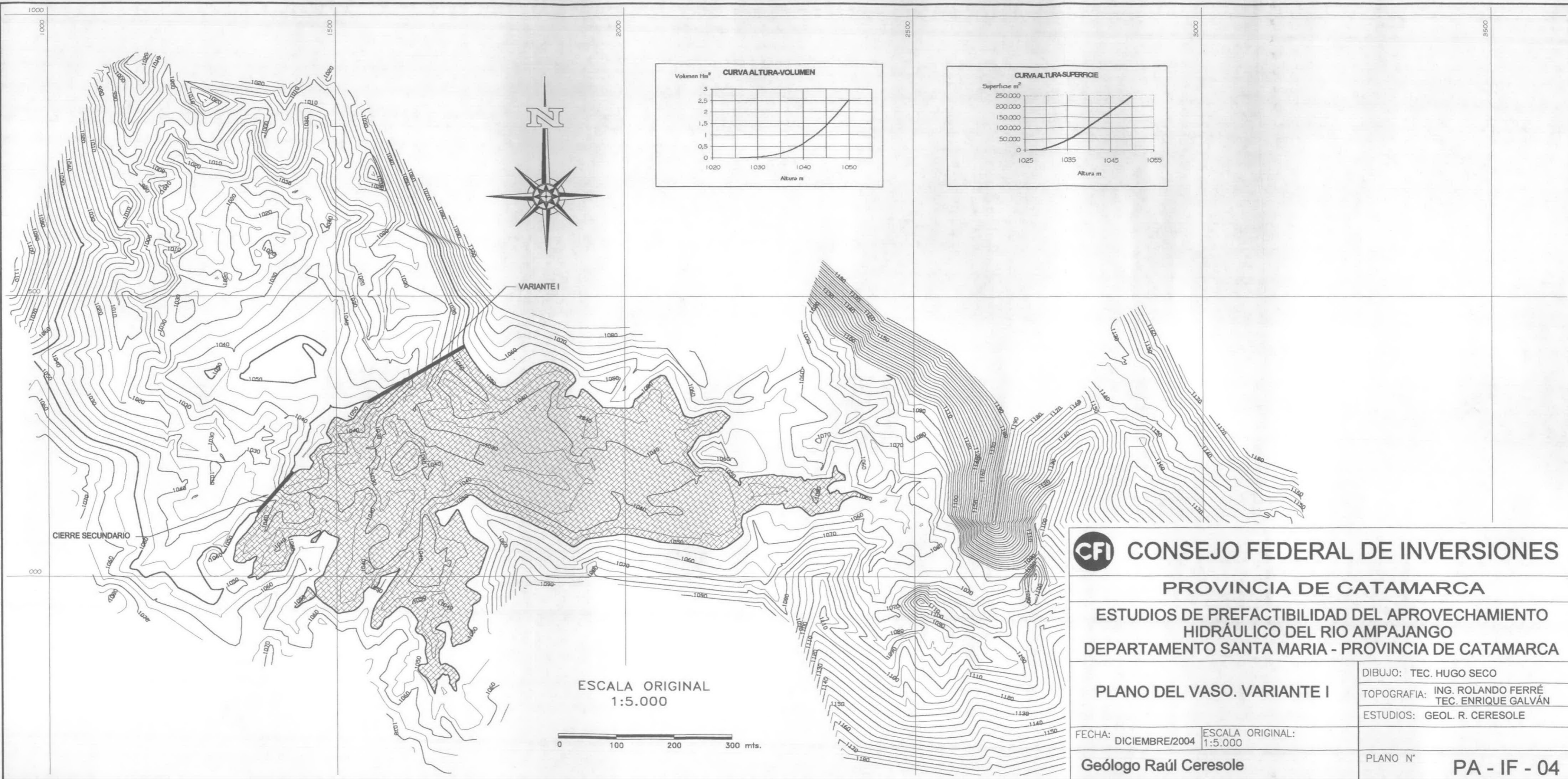
PLANO GEOLÓGICO DEL AREA DE ESTUDIO

DIBUJO: TEC. HUGO SECO
TOPOGRAFIA: ING. ROLANDO FERRÉ, TEC. ENRIQUE GALVÁN
ESTUDIOS: GEOL. R. CERESOLE

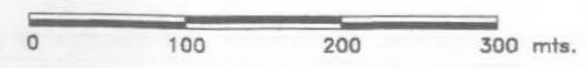
FECHA: DICIEMBRE/2004 ESCALA ORIGINAL: HOR. y VERT. 1:2.500

Geólogo Raúl Ceresole PLANO Nº PA - IF - 03





ESCALA ORIGINAL
1:5.000



CFI CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROVINCIA DE CATAMARCA

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO
HIDRÁULICO DEL RIO AMPAJANGO
DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA

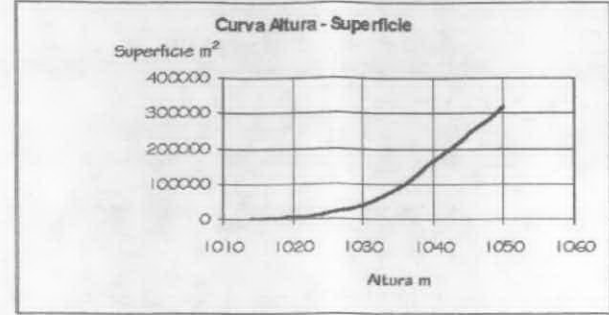
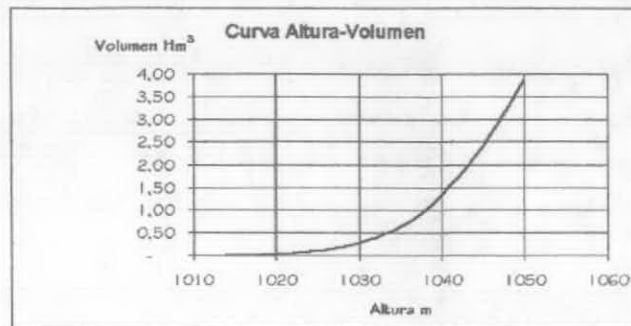
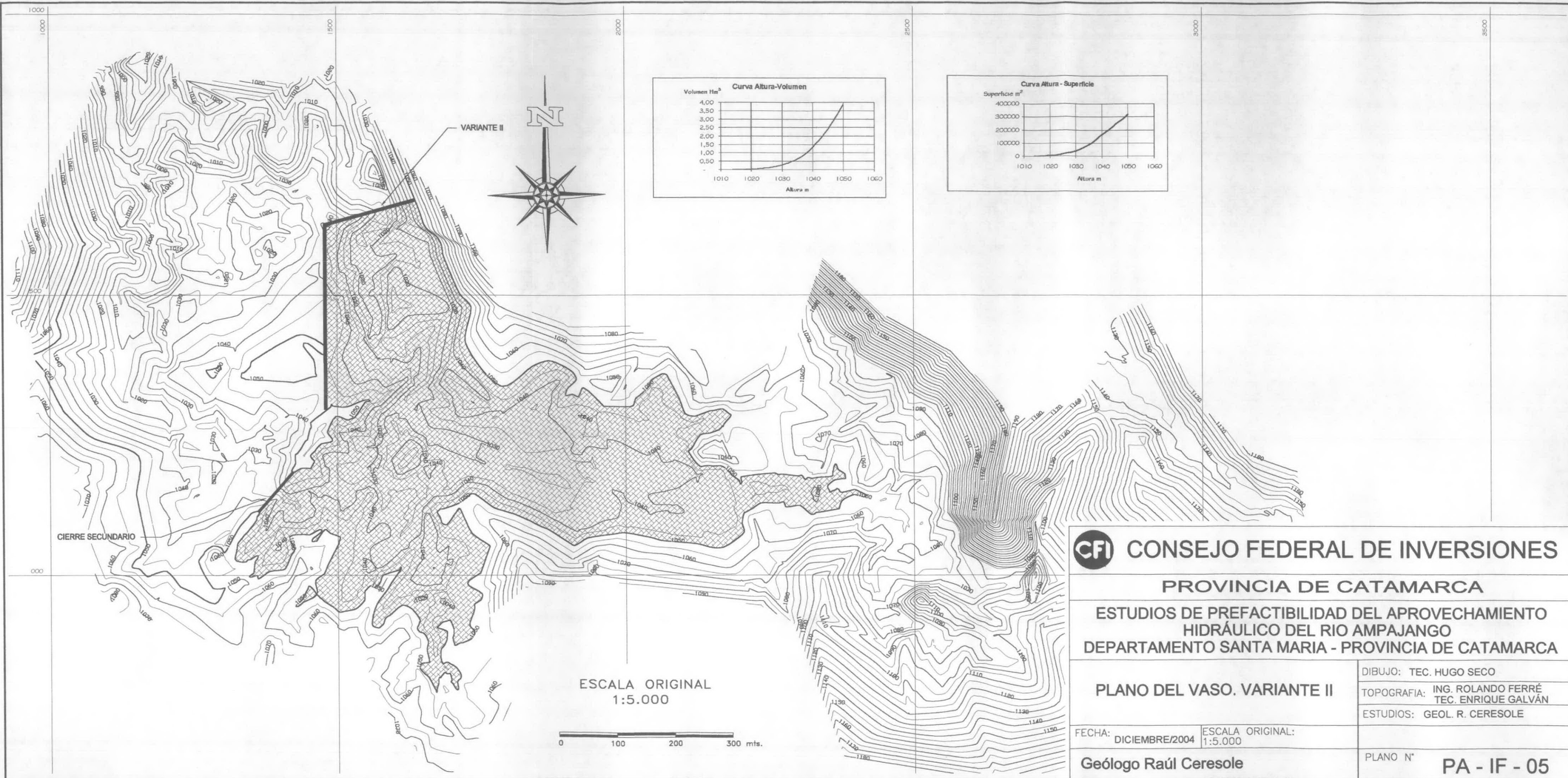
PLANO DEL VASO. VARIANTE I

DIBUJO: TEC. HUGO SECO
TOPOGRAFIA: ING. ROLANDO FERRÉ
TEC. ENRIQUE GALVÁN
ESTUDIOS: GEOL. R. CERESOLE

FECHA: DICIEMBRE/2004 ESCALA ORIGINAL:
1:5.000

Geólogo Raúl Ceresole

PLANO N° PA - IF - 04



ESCALA ORIGINAL
1:5.000



CFI CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROVINCIA DE CATAMARCA

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO
HIDRÁULICO DEL RIO AMPAJANGO
DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA

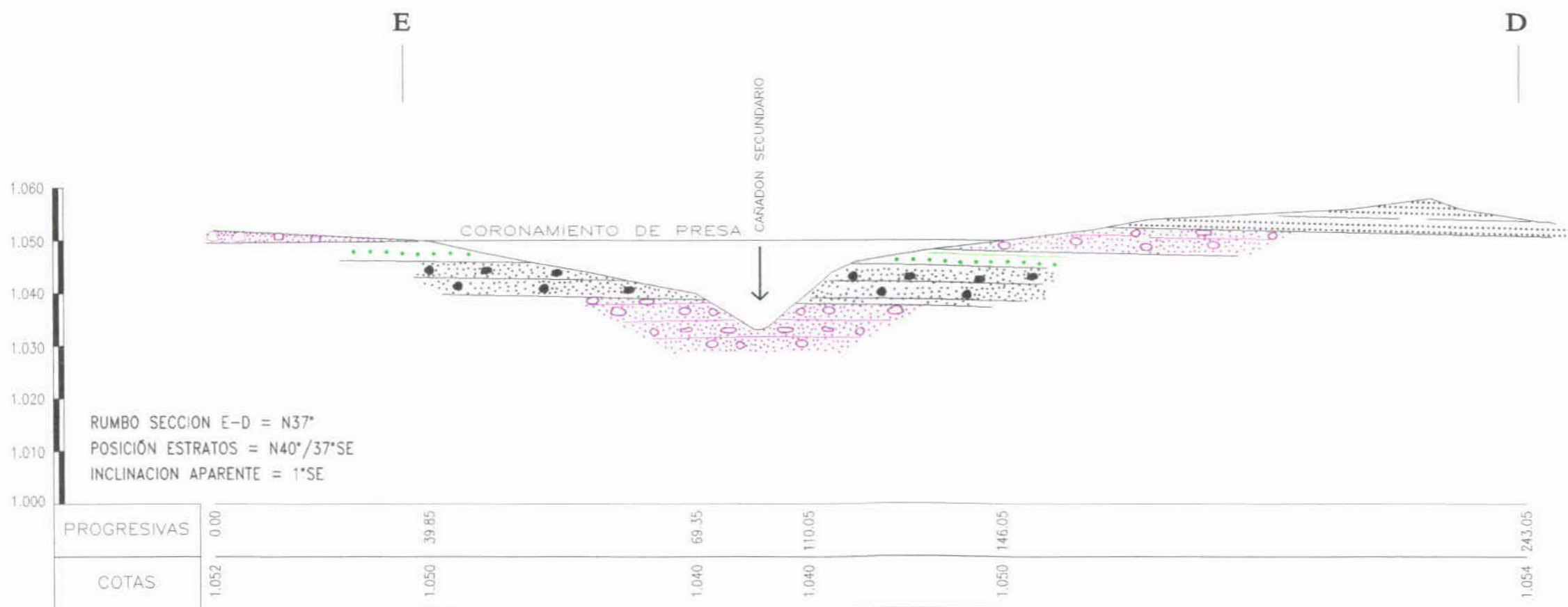
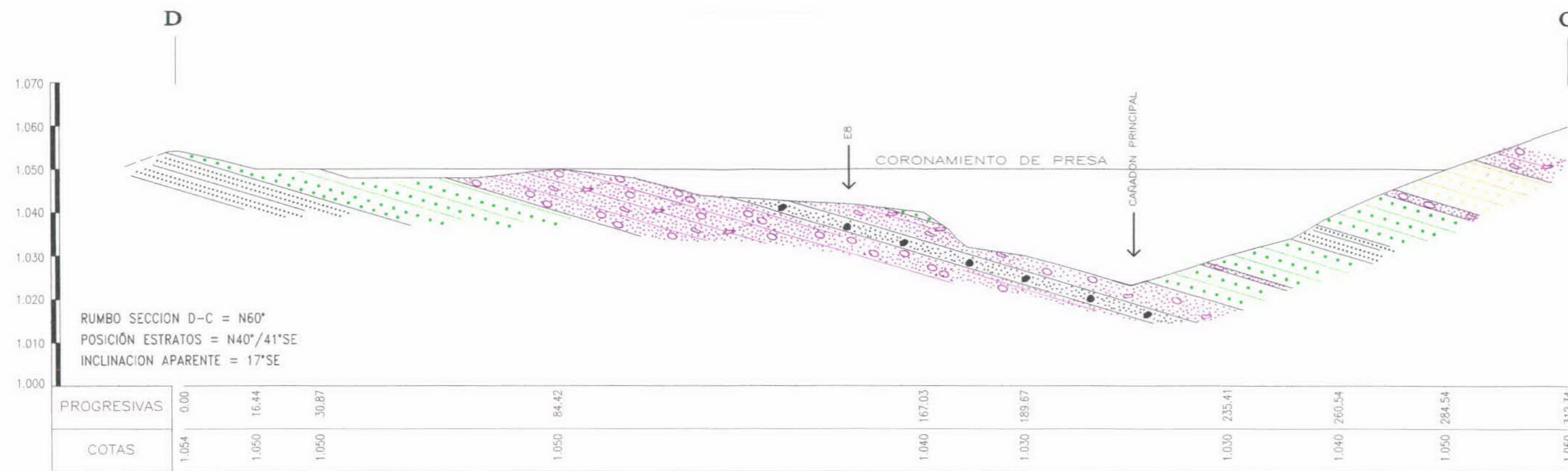
PLANO DEL VASO. VARIANTE II

DIBUJO: TEC. HUGO SECO
TOPOGRAFIA: ING. ROLANDO FERRÉ
TEC. ENRIQUE GALVÁN
ESTUDIOS: GEOL. R. CERESOLE

FECHA: DICIEMBRE/2004 ESCALA ORIGINAL:
1:5.000

Geólogo Raúl Ceresole

PLANO N° PA - IF - 05



REFERENCIAS

- Arenas, grays y bloques de arrastre (en parte derrubio de talud)
- Areniscas finas y muy finas con intercalaciones pelíticas (5) espesor en cm.
- Arenisca gruesa
- Arenisca mediana
- Arenisca fina
- Arenisca conglomerádica
- Conglomerado

E8: Estación topográfica

Punto D: Punto de perfil

ESCALA ORIGINAL
 (Horiz. y Vert.) 1:1.000



CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROVINCIA DE CATAMARCA

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO
 HIDRAULICO DEL RIO AMPAJANGO
 DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA

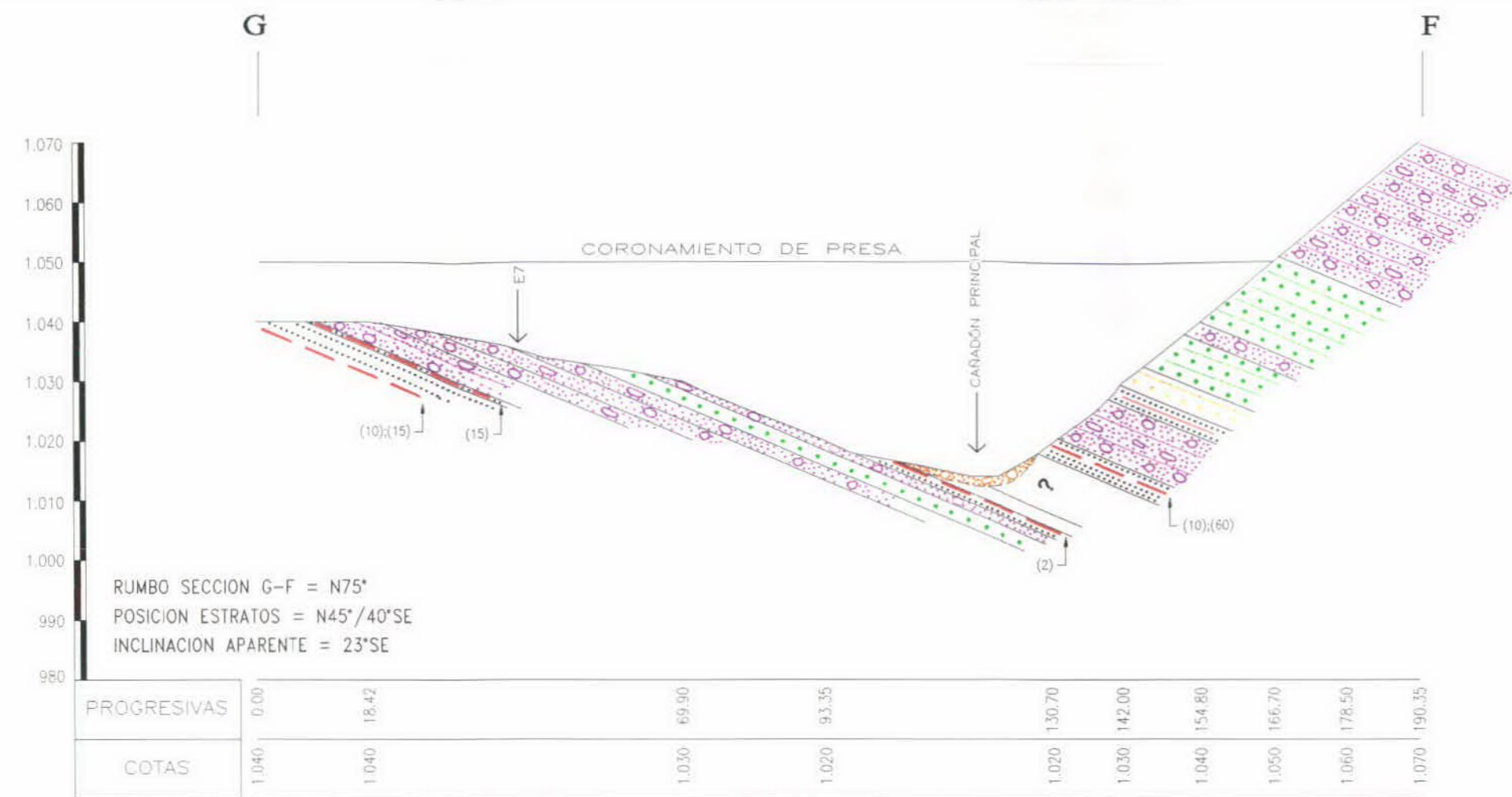
PERFILES GEOLÓGICOS
 C - D y D - E

DIBUJO: TEC. HUGO SECO
 TOPOGRAFIA: ING. ROLANDO FERRE
 TEC. ENRIQUE GALVÁN
 ESTUDIOS: GEOL. R. CERESOLE

Sobre Ejes de Presas Variante I y Cierre Secundario
 FECHA: DICIEMBRE/2004 ESCALA ORIGINAL:
 HOR. y VERT. 1:1.000

Geólogo Raúl Ceresole

PLANO N°
 PA - IF - 06



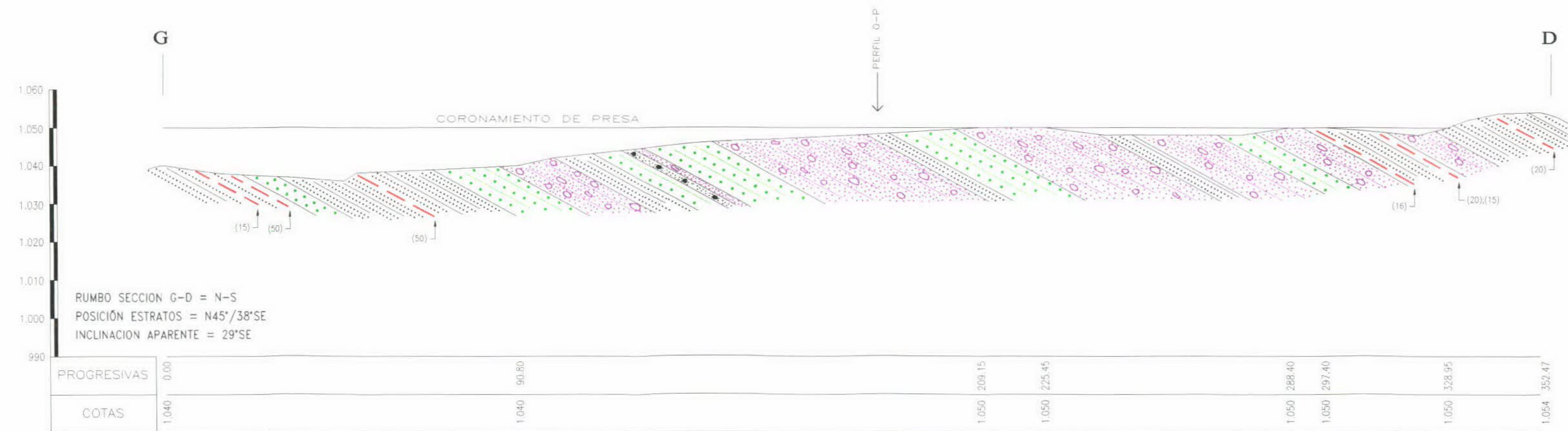
REFERENCIAS

- Arenas, gravas y bloques de arrastre (en parte derrubio de talud)
- Areniscas finas y muy finas con intercalaciones pelíticas (5) espesor en cm.
- Arenisca gruesa
- Arenisca mediana
- Arenisca fina
- Arenisca conglomerádica
- Conglomerado

E8: Estación topográfica

Punto D: Punto de perfil

ESCALA ORIGINAL
(Horiz. y Vert.) 1:1.000



CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROVINCIA DE CATAMARCA

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO
HIDRAULICO DEL RIO AMPAJANGO
DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA

PERFILES GEOLÓGICOS
F - G, G - D y D - E

DIBUJO: TEC. HUGO SECO

TOPOGRAFIA: ING. ROLANDO FERRE
TEC. ENRIQUE GALVÁN

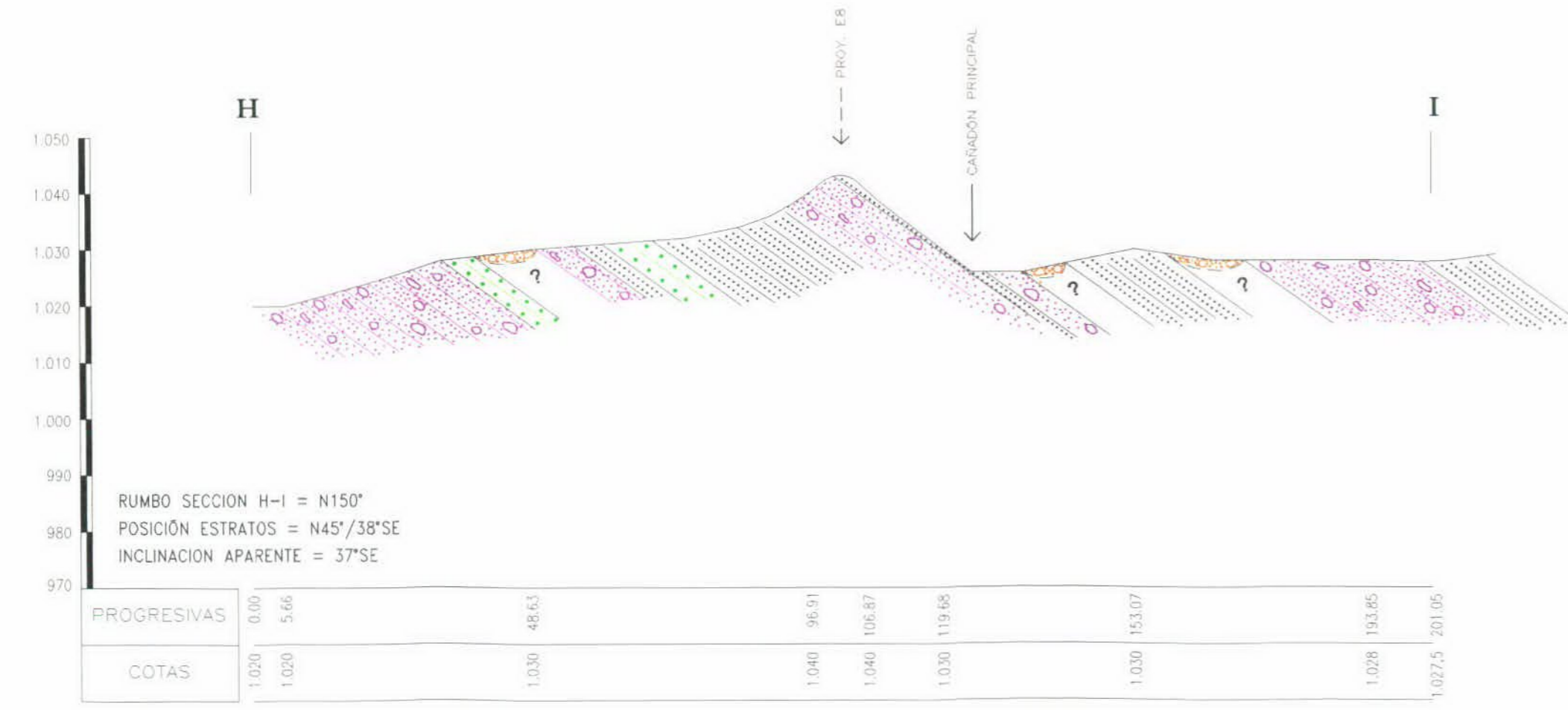
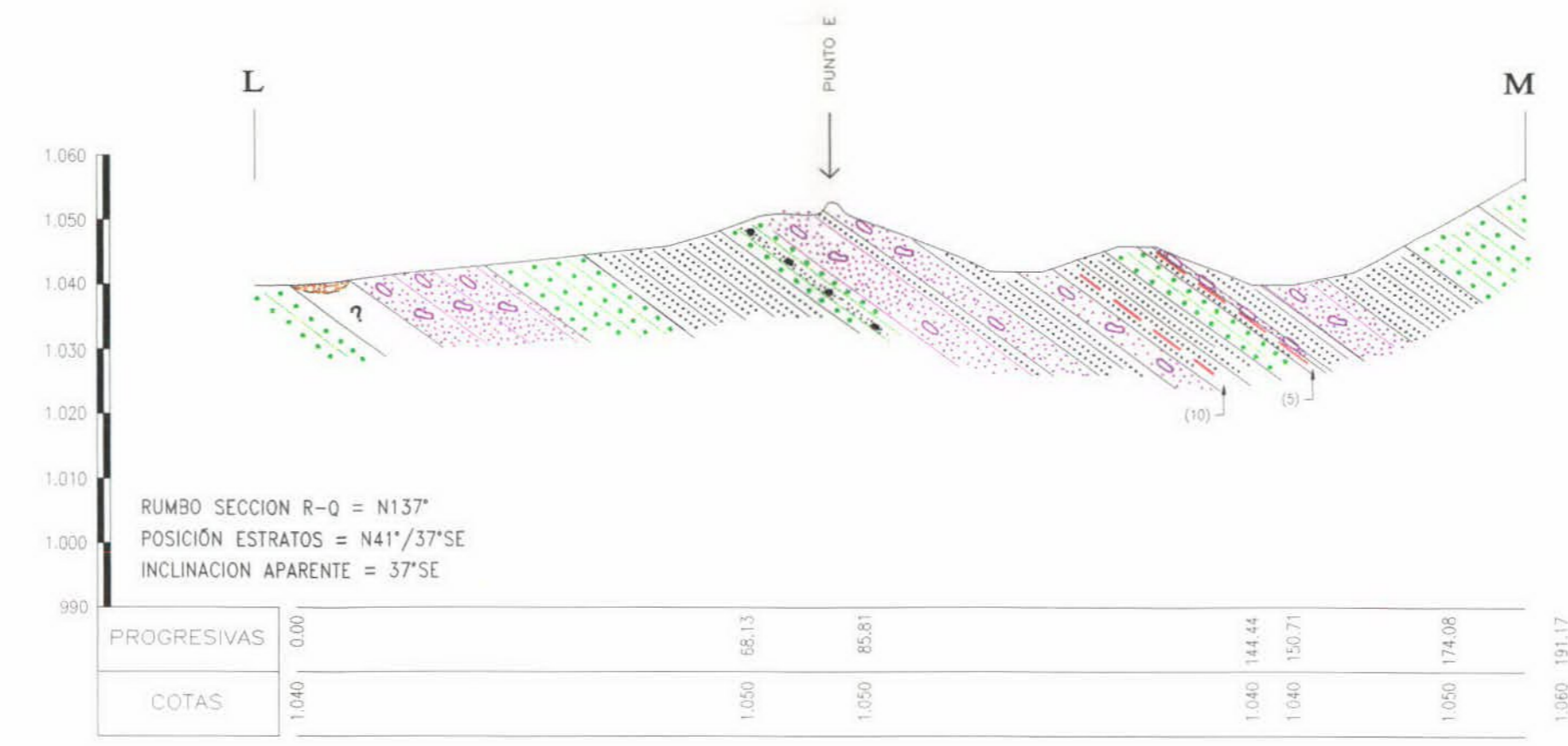
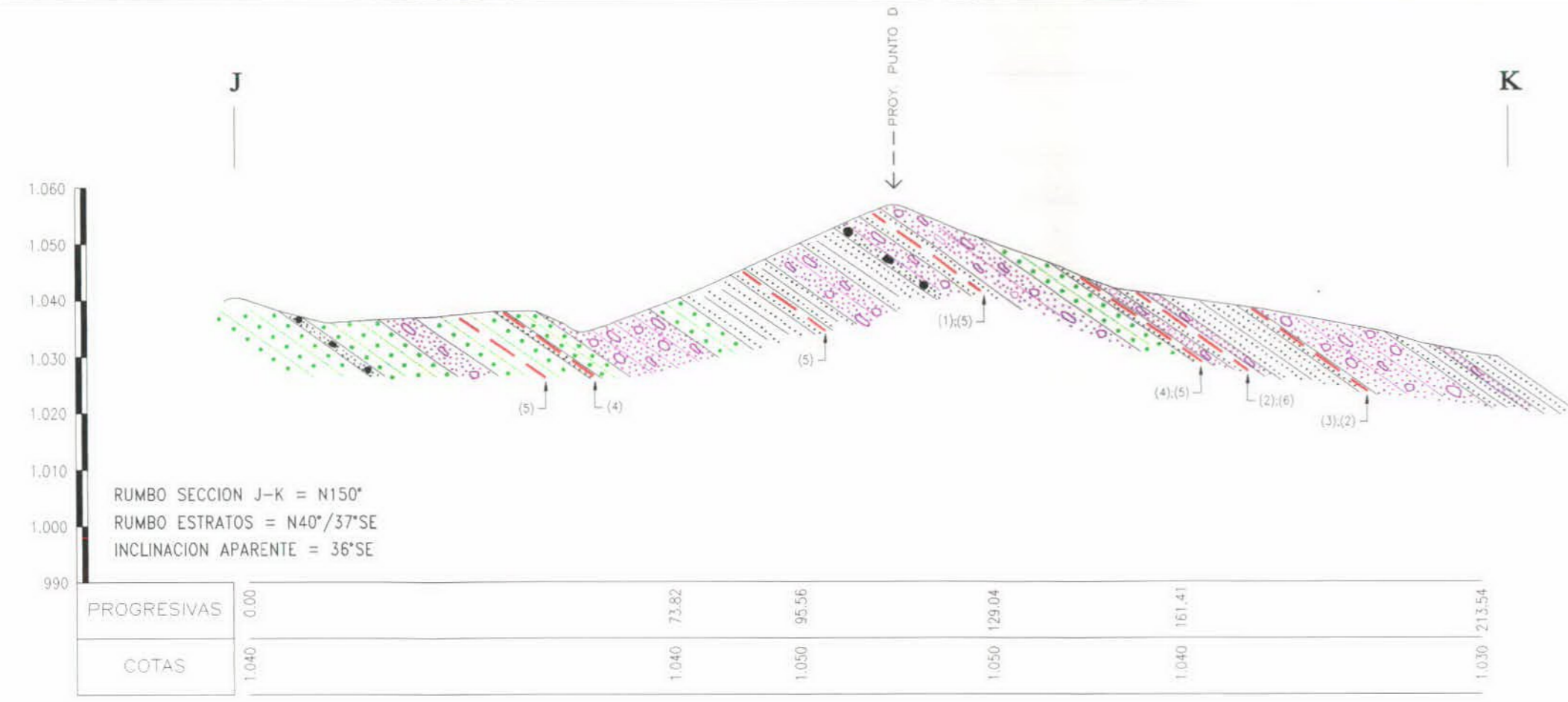
ESTUDIOS: GEOL. R. CERESOLE

FECHA: DICIEMBRE/2004

ESCALA ORIGINAL:
HOR. y VERT. 1:1.000

Geólogo Raúl Ceresole

PLANO N° PA - IF - 07



REFERENCIAS

- Arenas, grayas y bloques de arrastre (en parte derrubio de talud)
- Areniscas finas y muy finas con intercalaciones pelíticas (5) espesor en cm.
- Arenisca gruesa
- Arenisca mediana
- Arenisca fina
- Arenisca conglomerádica
- Conglomerado

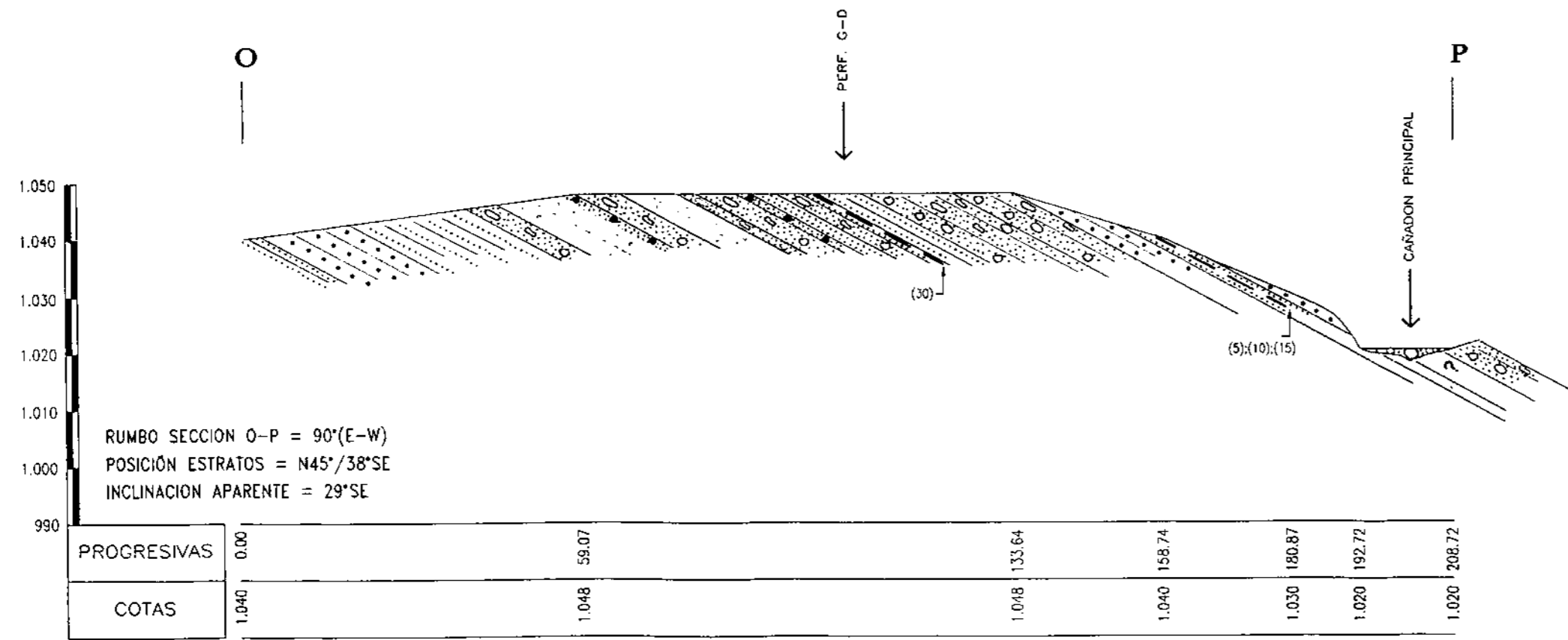
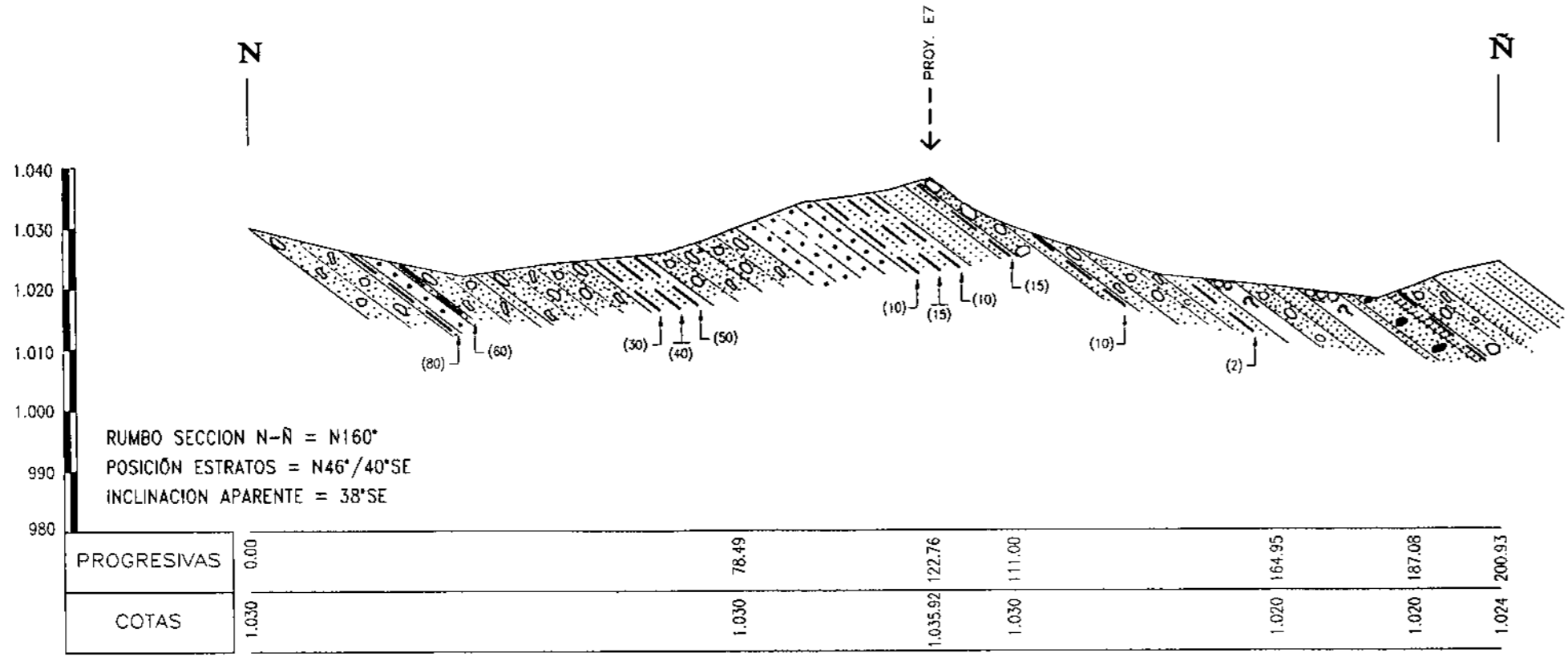
EB: Estación topográfica

Punto D: Punto de perfil

ESCALA ORIGINAL
(Horiz. y Vert.) 1:1.000



CFI CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES	
PROVINCIA DE CATAMARCA	
ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO AMPAJANGO DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA	
PERFILES GEOLÓGICOS H - I, J - K y L - M	DIBUJO: TEC. HUGO SECO TOPOGRAFIA: ING. ROLANDO FERRE TEC. ENRIQUE GALVÁN
Transversales a Ejes de Presas Variante I y Cierre Secundario	ESTUDIOS: GEOL. R. CERESOLE
FECHA: DICIEMBRE/2004	ESCALA ORIGINAL: HOR. y VERT. 1:1.000
Geólogo Raúl Ceresole	PLANO N° PA - IF - 08



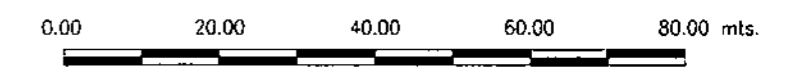
REFERENCIAS

- Arenas, grayas y bloques de arrastre (en parte derrubio de talud)
- Areniscas finas y muy finas con intercalaciones pelíticas (5) espesor en cm.
- Arenisca gruesa
- Arenisca mediana
- Arenisca fina
- Arenisca conglomerádica
- Conglomerado

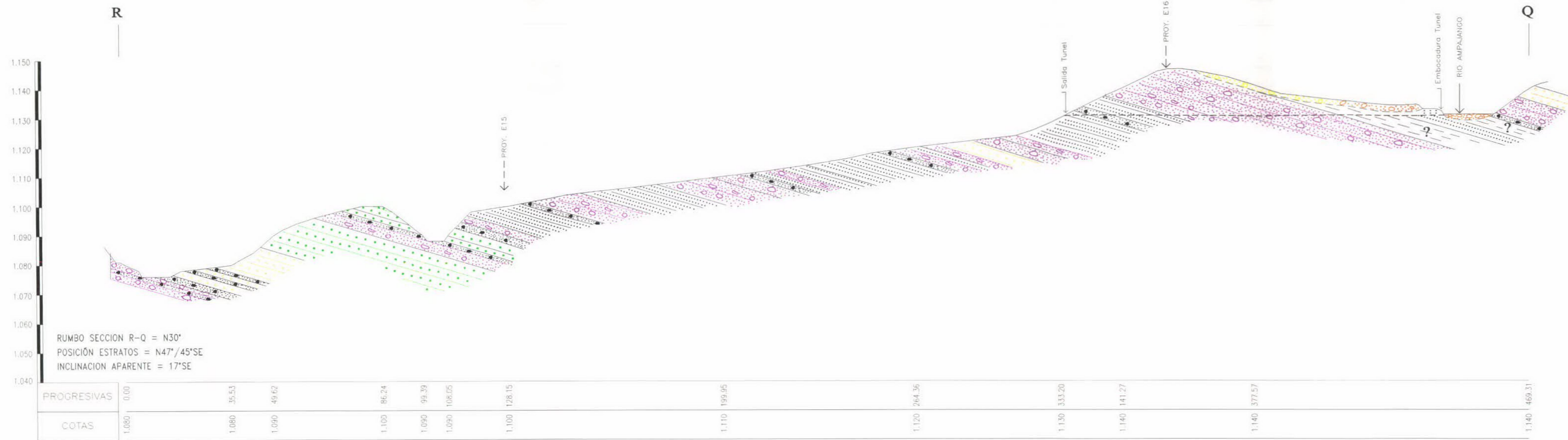
E8: Estación topográfica

Punto D: Punto de perfil

ESCALA ORIGINAL
 (Horiz. y Vert.) 1:1.000



CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES	
PROVINCIA DE CATAMARCA	
ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO AMPAJANGO DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA	
PERFILES GEOLÓGICOS N - Ñ y O - P Transversales a Eje de Presa Variante II	DIBUJO: TEC. HUGO SECO TOPOGRAFIA: ING. ROLANDO FERRE TEC. ENRIQUE GALVÁN ESTUDIOS: GEOL. R. CERESOLE
FECHA: DICIEMBRE/2004	ESCALA ORIGINAL: HOR. y VERT. 1:1.000
Geólogo Raúl Ceresole	PLANO N° PA - IF - 09



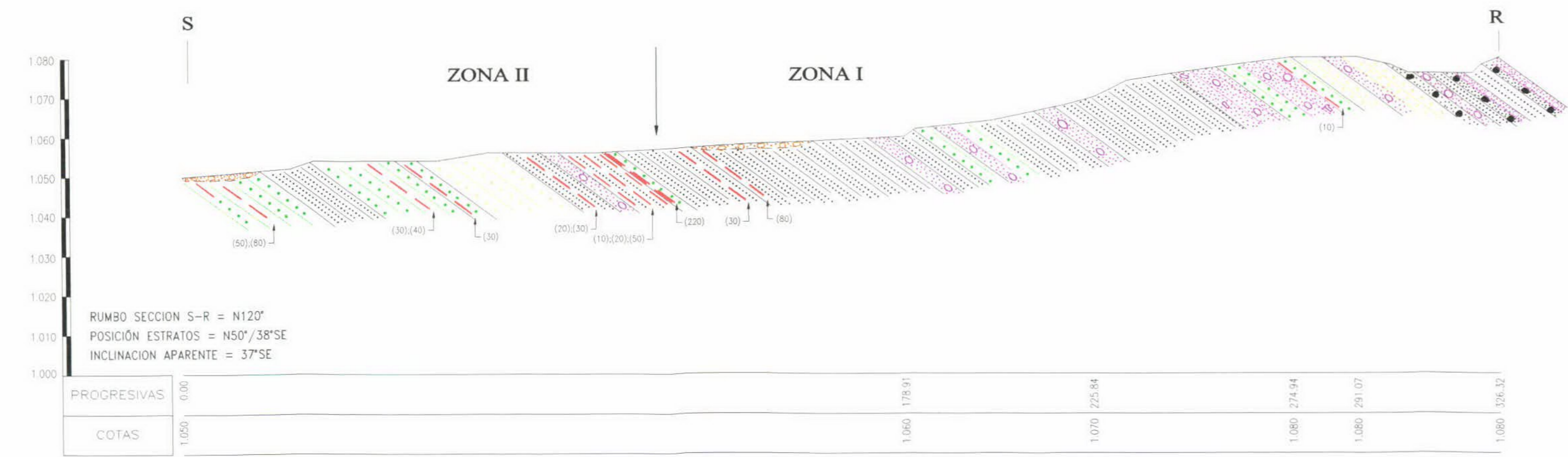
REFERENCIAS

- Derrubio de Talud
- Arenas, gravas y bloques de arrastre (en parte derrubio de talud)
- Arenas finas y muy finas con intercalaciones pelíticas (5) espesor en cm.
- Arenisca gruesa
- Arenisca mediana
- Arenisca fina
- Arenisca conglomerádica
- Conglomerado

E8: Estación topográfica

Punto D: Punto de perfil

ESCALA ORIGINAL (Horiz. y Vert.) 1:1.000

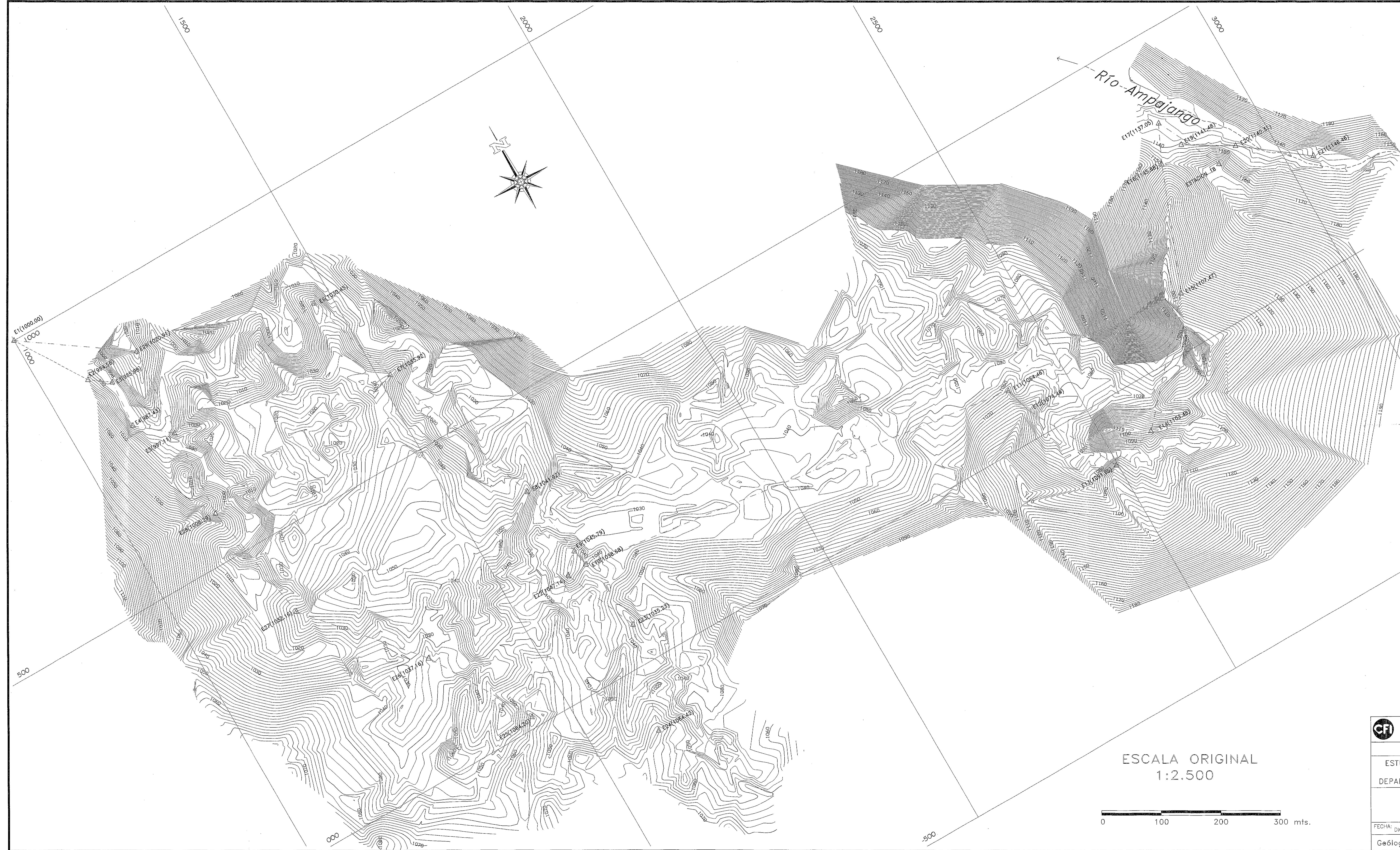


CFI CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROVINCIA DE CATAMARCA
 ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO
 HIDRAULICO DEL RIO AMPAJANGO
 DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA

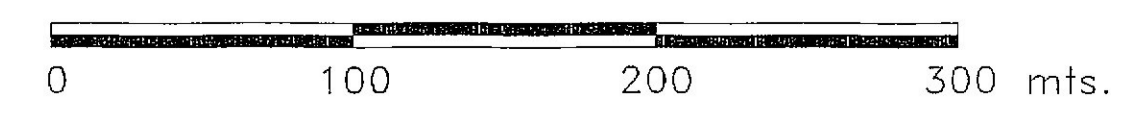
PERFILES GEOLÓGICOS Q - R y R - S	DIBUJO: TEC. HUGO SECO
Sobre el Eje de Toma y Derivación al Embalse	TOPOGRAFIA: ING. ROLANDO FERRE TEC. ENRIQUE GALVÁN
FECHA: DICIEMBRE/2004	ESTUDIOS: GEOL. R. CERESOLE
ESCALA ORIGINAL: HOR. y VERT. 1:1.000	PLANO N° PA - IF - 10

Geólogo Raúl Ceresole



Est. N°	Punto	E	N	Z
E1	1	1000.000	1000.000	1000.000
E2	68	1074.808	880.608	994.560
E3	93	1108.274	857.612	985.981
E4	119	1101.849	775.837	987.430
E5	126	1155.689	730.075	997.110
E6	210	1468.751	801.823	1030.450
E7	282	1519.412	633.595	1035.920
Punto G	1506	1479.347	620.874	1041.870
E8	341	1619.429	348.327	1041.920
E9	424	1638.218	223.777	1045.790
E10	452	1643.226	193.780	1038.680
E11	742	2401.590	93.988	1064.460
E12	857	2413.919	49.631	1075.440
E13	917	2497.321	-106.762	1091.650
E14	967	2576.944	-85.484	1103.480
E15	1019	2736.287	89.819	1107.470
E16	1023	2816.542	292.641	1145.680
E17	1030	2846.302	355.838	1137.050
E18	1044	2899.986	245.407	1166.440
E19	1036	2860.833	305.134	1141.480
E20	1086	2938.972	258.045	1140.310
E21	1133	3044.668	177.287	1146.460
E22	450	1608.501	192.843	1047.140
E23	1294	1660.780	67.473	1035.230
E24	1385	1608.981	-107.590	1064.420
E25	1213	1436.643	18.406	1064.200
E26	1745	1336.114	190.351	1037.160
E27	1895	1183.563	368.825	1032.165
E28	1953	1147.280	579.231	1008.299
E29	170	1169.684	881.938	1020.916

ESCALA ORIGINAL
1:2.500



CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES	
PROVINCIA DE CATAMARCA ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO DEL RIO AMPAJANGO DEPARTAMENTO SANTA MARIA - PROVINCIA DE CATAMARCA	
PLANO TOPOGRÁFICO DEL AREA DE ESTUDIO	DIBUJO: TEC. HUGO SECO TOPOGRAFIA: INC. ROLANDO FERRE TEC. ENRIQUE GALVÁN ESTUDIOS: GEOL. R. CERESOLE
FECHA: DICIEMBRE/2004	ESCALA ORIGINAL: 1:2.500
Geólogo Raúl Ceresole	PLANO N° PA -IF - 11

ANEXO VI

ENSAYOS DE LABORATORIO

LABORATORIO PETROGRAFICO CORDOBA

Corra 2390, P. V. Sarrafueld Córdoba Arg. Tel/Fax: +54-0351-469-1353

DESCRIPCION PETROGRAFICA:

Numero de Muestra: Ver tabla identificada con numero de muestra
Procedencia: Provincia de Catamarca
Ref. Laboratorio: S34904
Coleccion: Geol. Raúl Carosole

INTRODUCCION: Para la descripción integral de la unidad litológica se tomaron 9 muestras de referencia que responden petrográficamente a composiciones, texturas y granulometrias similares. Es por esto que se describirá el conjunto como Una unidad, haciendo las aclaraciones que puedan diferenciar sutilmente un muestreo del otro. Los porcentajes modales informados corresponden a la muestra S1 - C7, identificada como Grupo 1. Las demás muestras, fueron comparadas utilizando lupa binocular 100X, y análisis mineralógico en grano suelto con microscopio de polarización inducida.
Todas las muestras descritas fueron provistas por el comitente.

AGRUPAMIENTO DEL MUESTREO PROVISTO POR EL COMITENTE:

MUESTRA	AGRUPAMIENTO PARA LA DESCRIPCION Grupo
S1-C7 S1-C8 S2-C3 S2-C8	GRUPO I
S3-C3 S3-C4	GRUPO II
S3-C2 S4-C1 S4-C3	GRUPO III

DESCRIPCION MACROSCOPICA:

Color: Hay dos tonalidades muy bien diferenciadas dentro de los tonos grises. Una (Grupo I), es de color gris verdoso medio, con "pintas" negras generadas por la presencia de biotita. La distribución cromática es homogénea. Las muestras correspondientes a los Grupos II y III, son grises levemente más claras con "pintas" negras biotíticas menos frecuentes. Las rocas (sitio 3 cajón 4 y cajón 2 correspondientes a los Grupos II y III respectivamente) presentan maculaciones pardo claras por presencia de óxido férrico. En las del Grupo III pueden observarse clastos sabulíferos y algunos más gruesos (gravas), que otorgan a la roca matices localizados.

LABORATORIO PETROGRAFICO CORDOBA
Corra 2390, P.V. Sarsfield, Córdoba, Arg. Tel/Fax: +54-0351-468-1353

Granulometría: arenítica, es decir dentro del rango de 1/16mm a 2 mm, la fracción menor a esta es más escasa y está representada por carbonatos intersticiales que ofician de cemento químico poco abundante. La fracción mayor a la arenítica es de tipo sabulítica de 2 a 4 mm, aunque se han observado individuos que sobrepasan los 15 mm. Es de destacar que en todos los casos las fracciones que no son areníticas (sabulíticas y más gruesas aún) siempre son escasas.

Coherencia: En todos los grupos, la coherencia es mala y tienen un coeficiente de absorción muy alto, esto hace que la roca sea débil, con resistencias muy pobres, en algunos casos (Silo 1- Cajón 8, Grupo I) la roca es levemente friable.

Estructura: Maciza, aunque de muy débil estructura.

Macrofisuras: Escasas en todos los grupos estudiados.

Minerales primarios Visibles a simple vista: Cuarzo, biotita, muscovita

Minerales secundarios Visibles a simple vista: No se observan.

Clasificación: **ARENISCA CUARZO MICACEA** ((con cemento químico escaso de tipo carbonático.))

CONCLUSIONES:

El conjunto de rocas estudiadas presenta como principales particularidades:

1. Alto contenido de cuarzo (45,5%)
2. Presencia de micas (biotita y muscovita 23,3%). Esta abundancia de minerales con estructuras planares contribuye, junto a la débil diagénesis y litificación que presenta, a que los valores de resistencia sean bajos. El alto contenido de micas no permite una compactación estructural adecuada en estos casos.
3. Presencia de cemento químico carbonático escaso (7,8%), se observaron muestras que tienen cemento y otras que no, dando idea que no hay continuidad de este elemento en toda la unidad litológica. La presencia, ausencia y abundancia relativa del cemento, contribuye a los valores de coherencia.
4. Si bien no se midieron, al ser tratada la roca para su análisis, acusó altos valores relativos de absorción, lo que permite intuir que la misma podría saturarse en agua con facilidad.
5. La roca presenta una buena homogeneidad granulométrica, habiéndose observado localmente, aunque escasos, algunos fragmentos líticos granulométricamente mayores a arenas.
6. Cromáticamente se observaron dos tipos bien diferenciados, ambos poseen la misma composición global, aunque las rocas más claras deben su apariencia a contenidos de cuarzo y carbonato más abundantes y biotitas ligeramente más escasas. Ambas variedades responden aparentemente a la misma unidad litológica.

LABORATORIO PETROGRAFICO CORDOBA
 Correo 2390, P.V. Sargfeld, Córdoba, Arg. Tel/Fax: +54-0351-468-1335

DESCRIPCION MICROSCOPICA: (los porcentajes modales informados corresponden a la muestra Sitio 1 Cajón 7)

Textura: La roca distribuye sus componentes en:

1. Fracción clásica: 85,8%
2. Cemento químico: 7,8%
3. Minerales secundarios que forman parte de la fracción clásica: 6,4%

Nº	MINERAL	%	ACCESORIOS Y SECUNDARIOS
1	CUARZO	45,5	Clorita: 1,2%
2	BIOTITA	15,4	Sericita: 3,3%
3	MUSCOVITA	7,9	Caolín: 1,9%
4	FRAGMENTO LITICOS	6,3	
5	PLAGIOCLASA	4,2	
6	FELDESPATO POTASICO	3,8	Cemento químico carbonático: 7,8%
7	MINERALES OPACOS	2,7	

NUMERO MINERAL	FORMA	TAMAÑO (mm)	DISPOSICION TEXTURAL
1	Muy abundante subanguloso y sin deformaciones marcadas. Muy bien conservado. Anedral	0,18 - 0,36	Homogénea
2	Abundante y levemente deformada en algunos individuos. Bien conservada, aunque es posible observar incipientes clorizaciones. Subedral	0,18 - 0,54	Homogénea
3	Las láminas se disponen normalmente en la textura sin deformaciones y bien conservadas.	0,18 - 0,45	Homogénea
4	Los fragmentos líticos son de tipo volcánico, algunos pequeños y otros alcanzan los 15 mm, estos últimos son cuarcíticos y redondeados tipo canto rodados	0,33 - 15	Heterogénea
5	Algo caolinizada. Subedral	0,18 - 0,30	Homogénea
6	Algo sericitizado	0,15 - 0,30	Homogénea
7	Escasos de composición hematítica. Subedral	0,06 - 0,24	Heterogénea

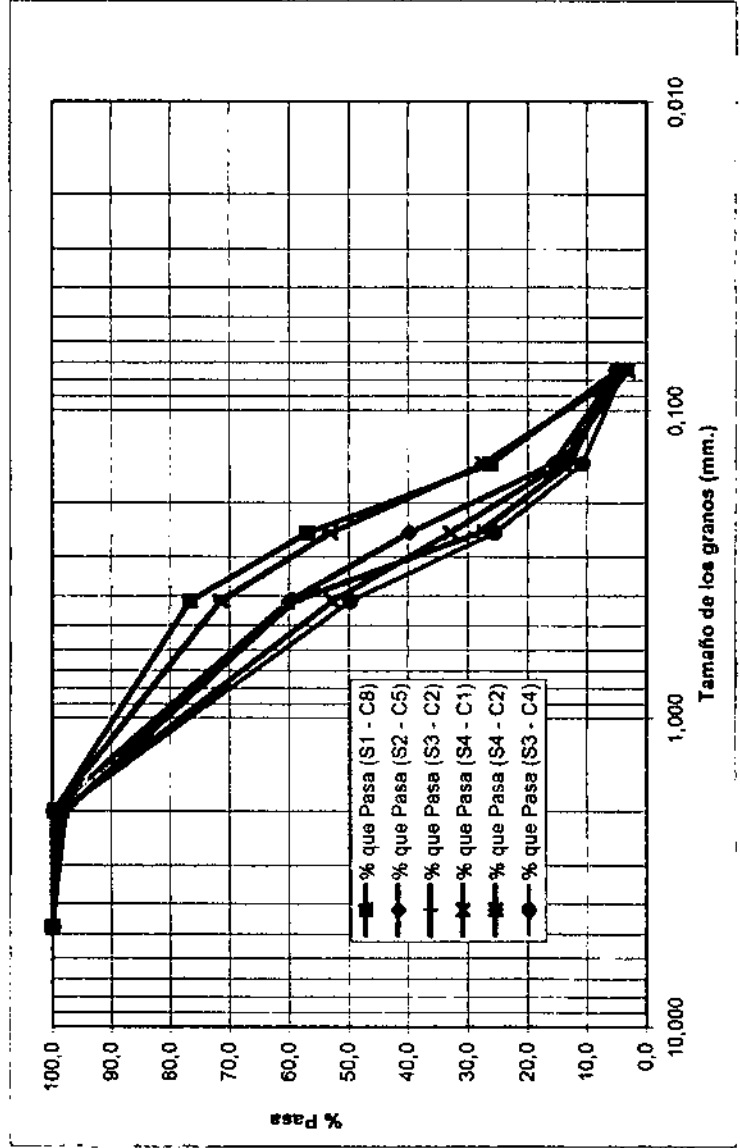
Dr. Aldo Antonio Bonelums
 Laboratorio Petrográfico Córdoba

10-11-04

ARENISCAS: CURVAS GRANULOMETRICAS - IDENTIFICACION

Proyecto: Ampajango - Pcia. de Catamarca

Tamiz en Pulgadas Tamiz en mm	CLASIF. INDICE UNIFIC. PLAST.							
	Nº 4 4,760	Nº 10 2,000	Nº 40 0,417	Nº 60 0,250	Nº 100 0,149	Nº 200 0,074		
% que Pasa (S1 - C8)	100,0	99,6	76,6	56,9	26,2	4,9	SW	NP
% que Pasa (S2 - C5)	100,0	99,9	60,0	39,8	15,6	4,8	SW	NP
% que Pasa (S3 - C2)	100,0	97,8	59,2	28,2	12,9	5,1	SW	NP
% que Pasa (S3 - C4)	100,0	98,4	49,7	25,5	10,8	4,0	SW	NP
% que Pasa (S4 - C1)	100,0	98,4	52,7	32,9	14,4	3,2	SW	NP
% que Pasa (S4 - C2)	100,0	99,6	71,5	53,1	27,4	3,4	SW	NP



PARAMETROS MECANICOS DE ARENISCAS

Proyecto: Ampajango - Pcia. de Catamarca

Condición de ensayos: Probetas talladas sobre muestras indisturbadas

Muestra	Clasif. Unificada	Resist. Compr. Simple C (kg/cm2)	Hum. Nat. (%)	Absorción (%)	Permeabilidad k (cm/seg)
S1 - C7	SW	13,10	1,15	9,79	9.1×10^{-7}
S2 - C5	SW	35,02	1,87	4,64	1.1×10^{-8}
S2 - C6	SW	34,90	0,87	4,78	3.2×10^{-6}
S4 - C1	SW	19,60	2,56	5,55	4.5×10^{-8}

Córdoba, noviembre del 2004.

RESUMEN DE ENSAYOS EN ARENISCAS

Proyecto: Ampajango - Pcia. de Catamarca

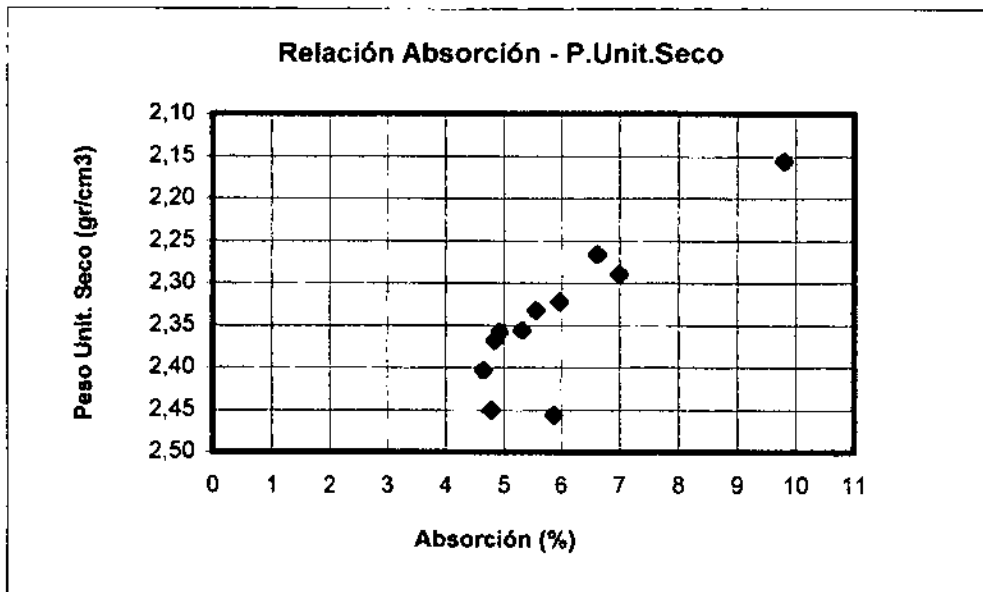
Muestra	Peso Unitario		P. Espec. Absoluto (gr/cm ³)	Relación de vacíos (e)	Porosidad (n)	Absorción (%)	Tensión de rotura (kg/cm ²)
	Húmedo (gr/cm ³)	Seco (gr/cm ³)					
S1 - C6	2,37	2,16	2,58	0,19	0,16	9,79	28,17
S1 - C7	2,58	2,46	2,66	0,08	0,08	5,86	13,10
S2 - C6	2,48	2,36	2,63	0,11	0,10	5,31	13,71
S2 - C5	2,52	2,40	2,65	0,10	0,09	4,64	35,02
S2 - C5	2,48	2,36	2,65	0,12	0,11	4,92	35,12
S2 - C6	2,52	2,45	2,68	0,09	0,09	4,78	19,60
S3 - C2	2,48	2,37	2,68	0,13	0,12	4,84	21,18
S3 - C3	2,42	2,27	2,64	0,16	0,14	6,61	14,21
S3 - C4	2,45	2,29	2,62	0,14	0,13	6,99	12,51
S4 - C1	2,46	2,33	2,67	0,15	0,13	5,55	34,90
S4 - C2	2,46	2,32	2,67	0,15	0,13	5,96	28,70

NOTA: Los ensayos de mecánica de rocas se hicieron de acuerdo a las Normas IRAM 10602, 10603 y 10607.

DENSIDADES NATURALES - ABSORCION

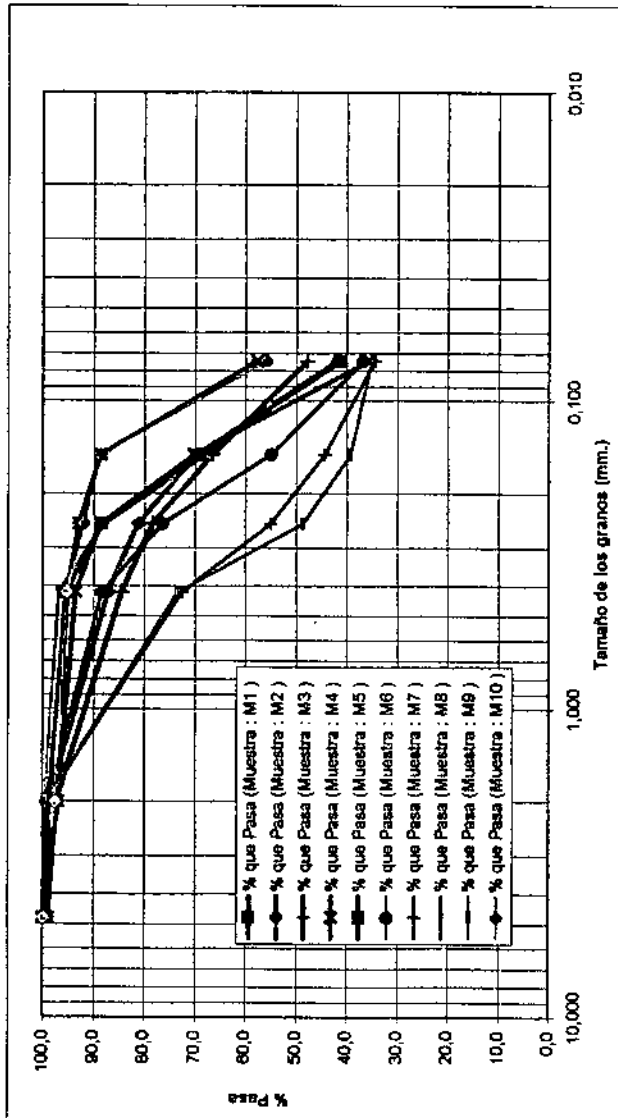
AMPAJANGO - ARENISCAS

MUESTRA	DENSIDAD APARENTE		ABSORCION (%)
	Saturada (gr/cm ³)	Seca (gr/cm ³)	
S1 - C7	2,580	2,456	5,86
S1 - C6	2,367	2,156	9,79
S2 - C6	2,481	2,356	5,31
S2 - C5	2,516	2,403	4,64
S2 - C5	2,480	2,358	4,92
S2 - C6	2,524	2,450	4,78
S3 - C2	2,483	2,368	4,84
S3 - C3	2,416	2,266	6,61
S3 - C4	2,449	2,289	6,99
S4 - C2	2,461	2,332	5,55
S4 - C1	2,460	2,322	5,96



**ENSAYOS DE IDENTIFICACION
AMPAJANGO - SUELOS FINOS**

Ubicación	Tamiz en Pulgadas	N° 4	N° 10	N° 40	N° 60	N° 100	N° 200	CLASIF. UNIFIC.	INDICE PLAST.
Sitio Finos 1	% que Pasa (Muestra : M1)	100,0	98,8	95,5	88,3	69,0	41,2	SM	NP
	% que Pasa (Muestra : M2)	100,0	98,7	87,1	81,2	69,6	41,7	SM	NP
	% que Pasa (Muestra : M3)	100,0	97,4	84,5	78,4	68,5	47,8	SM	NP
	% que Pasa (Muestra : M4)	100,0	97,0	93,6	88,5	70,2	35,6	SM	3,1
Sitio Finos 2	% que Pasa (Muestra : M5)	99,0	97,4	95,1	92,9	88,5	57,6	ML	1,9
	% que Pasa (Muestra : M6)	100,0	99,1	88,3	76,3	54,9	38,8	SM	NP
Sitio Finos 3	% que Pasa (Muestra : M7)	99,9	99,3	72,5	55,0	44,3	34,4	SM	NP
	% que Pasa (Muestra : M8)	100,0	99,5	98,9	87,8	68,0	42,2	SM	NP
	% que Pasa (Muestra : M9)	100,0	98,3	73,4	48,7	39,2	35,0	SM	NP
	% que Pasa (Muestra : M10)	100,0	97,6	95,3	91,9	88,5	55,8	ML	1,7



PARAMETROS MECANICOS DE SUELOS

Proyecto: Ampajango - Pcia. de Catamarca

Condición de ensayos: Probetas compactadas

Muestra	Clasif. Unificada	Resist. al Corte		Proctor		Permeabilidad k (cm/seg)
		C (kg/cm ²)	φ (°)	% H	D _{s.s.} (gr/cm ³)	
Finos 1	SM	0,17	27	16,2	1,69	5,1 x 10 ⁻⁵
Finos 2	SM	0,10	28	15,5	1,74	1,1 x 10 ⁻⁵
Finos 3(100)	SM	0,82	33	17,3	1,64	1,6 x 10 ⁻⁵
Finos 3(96)	SM	0,66	33	17,1	1,62	1,4 x 10 ⁻⁵

Nota: Finos 1 y 2: Probetas compactadas al 98 % de Proctor

Nota: Finos 3(100): Probeta compactada al 100 % de Proctor

Nota: Finos 3(96): Probeta compactada al 96 % de Proctor

Córdoba, noviembre del 2004.

PESOS UNITARIOS EN SUELOS FINOS**Proyecto: Ampajango - Pcia. de Catamarca**

Muestra	Peso Unitario		Humedad Natural (%)
	Húmedo (gr/cm ³)	Seco (gr/cm ³)	
Finos 1	1.293	1.232	4,93
Finos 2	1.316	1.267	3,88
Finos 3	1.325	1.308	1,29

Condición de las muestras:

Indisturbadas, humedad natural

Córdoba, noviembre del 2004.

ENSAYO PIN HOLE

Proyecto: Ampajango - Pcia. de Catamarca

Condiciones de ensayo: Muestra compactada (98 % Proctor)

Muestra	Tiempo (min)	Carga hidráulica (mm)	Flujo		Caudal (ml/seg)	Color del flujo				
			ml	seg		1	2	3	4	5
F 1 - Sitio 1	10	50	10	30	0,33	X				
	20		10	10	1,00	X				
	30		10	10	1,00	X				
	40		25	23	1,00	X				
F 2 - Sitio 2	10	50	10	180	0,06			X		
	20		10	80	0,13			X		
	30		10	70	0,14			X		
	40		25	190	0,13			X		
	50		25	100	0,25		X			
	60		25	40	0,63	X				
F 3 - Sitio 3	70	50	25	25	1,00	X				
	10		10	25	0,40		X			
	20		10	10	1,00		X			
	30		25	16	1,56		X			
	40	25	16	1,56		X				

Referencias Color del flujo:	Muestras:
1: Muy oscuro	Diámetro inicial: 33 mm
2: Oscuro	Altura: 38 mm
3: Moderadamente oscuro	Diámetro final orificio: 2,2 mm (Muestra F1)
4: Suavemente oscuro	Diámetro final orificio: 2,2 mm (Muestra F2)
5: Claro	Diámetro final orificio: 2,5 mm (Muestra F3)

Observaciones: En todas las muestras se presenta erosión del material en la salida del orificio, lo que genera arrastre del suelo.

Resultados: Todas las muestras se clasifican como Altamente Dispersivas, según el Método A.
La dispersión señalada es del tipo mecánico al no haberse encontrado materiales plásticos que puedan indicar la presencia de arcillas.

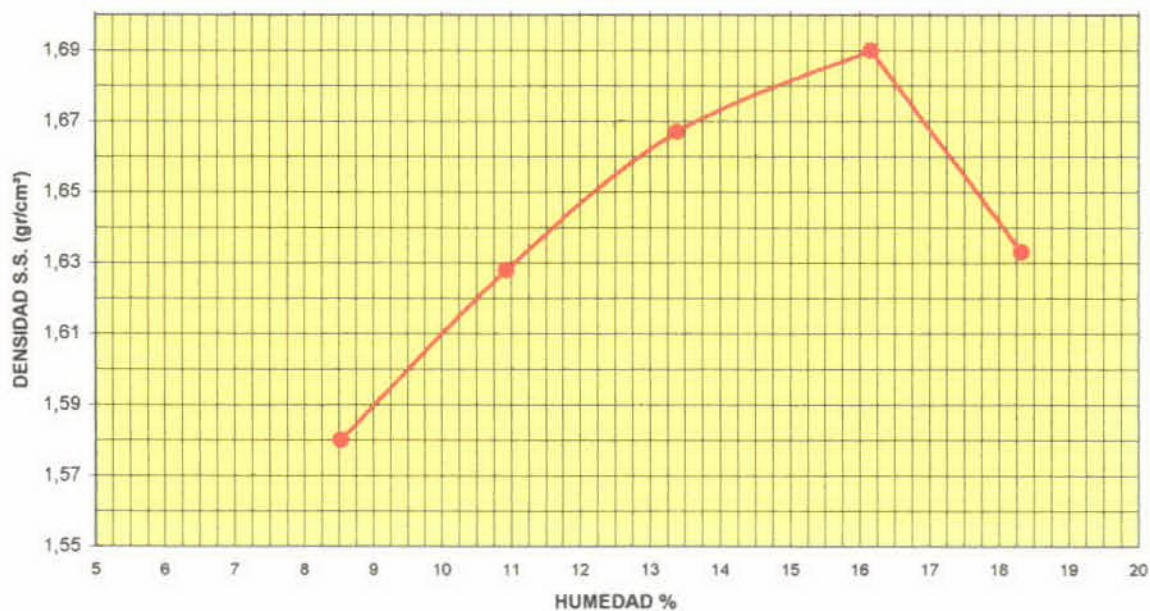
Córdoba, noviembre 2004.

ENSAYO PROCTOR STANDARD

Ubicación: SUELOS FINOS 1

Fecha: Nov 2004

Profundidad :		1,00 m		Ensayo N° 1: Suelo natural							
Datos del Molde:		N°: 1	Peso (P_{mold}):		3072 gr		Volumen(V_{mold}):		940,62 cm^3		
Punto N°	$P_{sh.} + P_{mold.}$	$P_{s.h.}$	$D_{s.h.}$	$N^{\circ}_{pesaf.}$	$P_{pesaf.}$	$P_{s.h.} + P_{pesaf.}$	$P_{s.s.} + P_{pesaf.}$	P_{agua}	$P_{s.s.}$	% H	$D_{s.s.}$
	(gr)	(gr)	$\frac{P_{s.h.}}{V_{mold.}}$ (gr/cm^3)							$\frac{P_{agua} \times 100}{P_{s.s.}}$ %	$1 + \frac{\%H}{100,00}$
1	4685	1613	1,72			89,3	83,6			8,5	1,58
2	4771	1699	1,81			90,9	83,4			10,9	1,63
3	4850	1778	1,89			88,2	79,5			13,4	1,67
4	4919	1847	1,96			98,0	86,9			16,2	1,69
Punto Optimo										16,2	1,69
5	4889	1817	1,93			94,0	81,84			18,3	1,63
6											
7											



Densidad s.s. máxima ($D_{s.s. máx.}$): **1,69** [gr/cm^3]

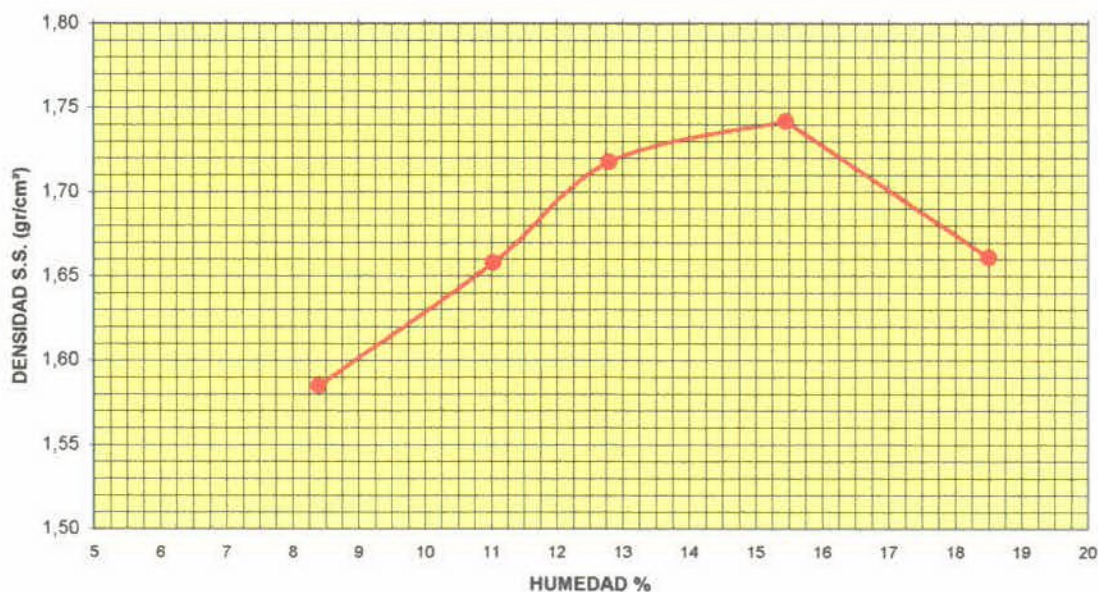
H_{optima} **16,2 %**

ENSAYO PROCTOR STANDARD

Ubicación: SUELOS FINOS 2

Fecha: Nov 2004

Profundidad :	1,00 m	Ensayo N° 2: Suelo natural									
Datos del Molde:	N°: 1	Peso (P _{mold}):	3072 gr			Volúmen(V _{mold}):	940,62 cm ³				
Punto N°	P _{sh.} +P _{mold.}	P _{s.h.}	D _{s.h.}	N° pesaf.	P _{pesaf.}	P _{s.h.} +P _{pesaf.}	P _{s.s.} +P _{pesaf.}	P _{agua}	P _{s.s.}	% H	D _{s.s.}
	(gr)	(gr)	P _{s.h.}							P _{agua} ×100	D _{s.h.}
			V _{mold.}	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	%	1+ %H
			(gr/cm ³)								100,00
1	4688	1616	1,72			83,37	78,15			8,4	1,59
2	4804	1732	1,84			73,80	68,29			11,0	1,66
3	4895	1823	1,94			78,26	71,53			12,8	1,72
4	4964	1892	2,01			85,84	76,35			15,5	1,74
Punto Optimo										15,5	1,74
5	4983	1851	1,97			100,29	87,45			18,5	1,66
6											
7											



Densidad s.s.máxima (D_{s.s.máx.}): **1,74 [gr/cm³]**

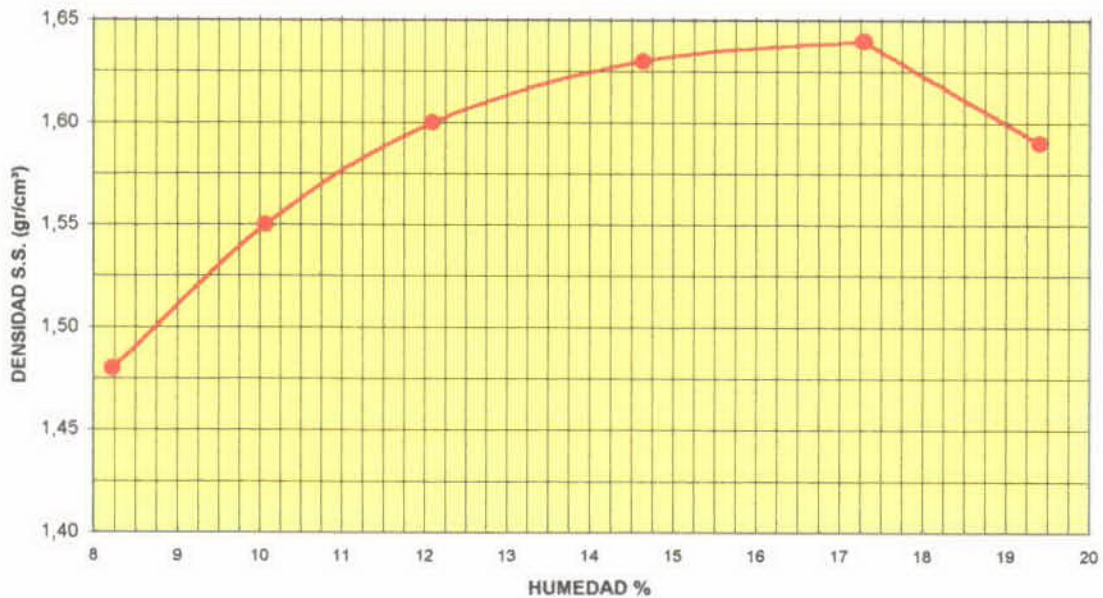
H_{optima} : **15,5 %**

ENSAYO PROCTOR STANDARD

Ubicación: SUELOS FINOS 3

Fecha: Nov 2004

Profundidad :		1,00 m		Ensayo N° 3: Suelo natural							
Datos del Molde:		N°: 1	Peso (P_{mold}):		3072 gr		Volumen(V_{mold}):		940,62 cm^3		
Punto N°	$P_{sh.} + P_{mold.}$	$P_{s.h.}$	$D_{s.h.}$	N° pesaf.	$P_{pesaf.}$	$P_{s.h.} + P_{pesaf.}$	$P_{s.s.} + P_{pesaf.}$	P_{agua}	$P_{s.s.}$	% H	$D_{s.s.}$
	(gr)	(gr)	$\frac{P_{s.h.}}{V_{mold}}$ (gr/cm^3)									$\frac{P_{agua} \times 100}{P_{s.s.}}$ 1+ %H 100,00
1	4584	1512	1,61			101,4	94,9			8,2	1,48
2	4674	1602	1,70			95,4	88,4			10,1	1,55
3	4759	1687	1,79			99,1	90,5			12,1	1,60
4	4835	1763	1,87			86,8	77,6			14,6	1,63
Pto Optimo										17,3	1,64
5	4881	1809	1,92			101,9	89,3			17,3	1,64
6	4861	1789	1,90			102,0	88,1			19,4	1,59
7											



Densidad s.s. máxima ($D_{s.s. máx.}$): **1,64** [gr/cm^3]

H_{optima} : **17,3** %

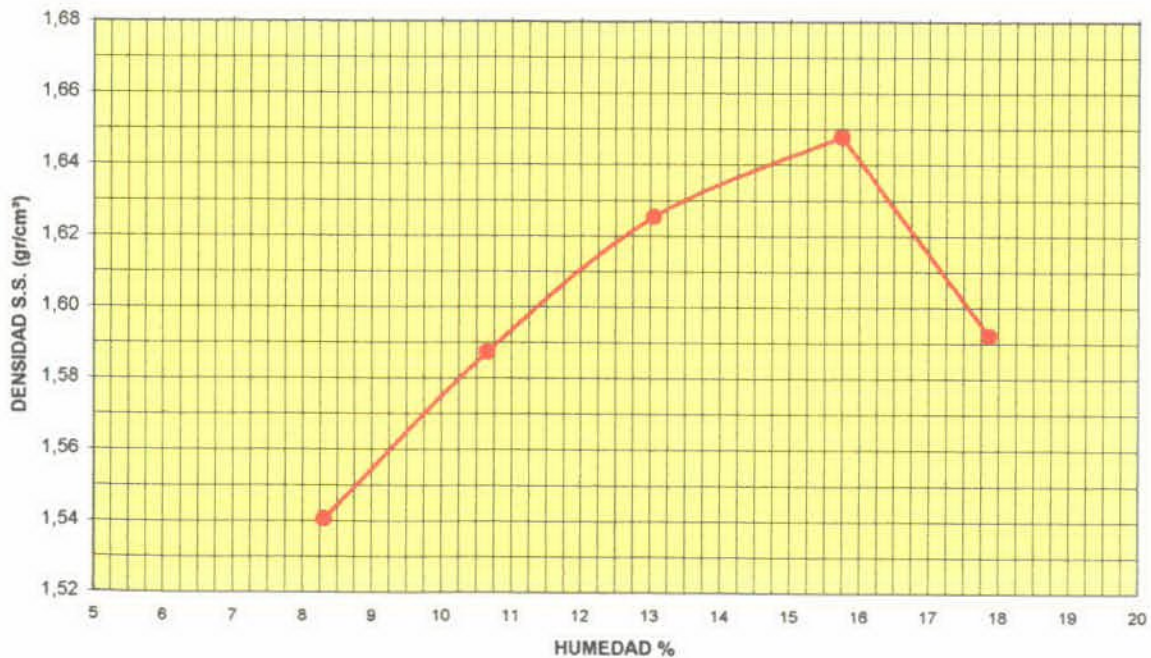
ENSAYO PROCTOR STANDARD

Ubicación: SUELOS FINOS 1

Fecha: Nov 2004

Profundidad :	1,00 m		Ensayo N° 4: Suelo natural
Datos del Molde:	N°: 1	Peso (P_{mold}):	3072 gr
		Volúmen(V_{mold}):	940,62 cm ³

Punto N°	$P_{sh.} + P_{mold.}$	$P_{s.h.}$	$D_{s.h.}$	N° pesaf.	$P_{pesaf.}$	$P_{s.h.} + P_{pesaf.}$	$P_{s.s.} + P_{pesaf.}$	P_{agua}	$P_{s.s.}$	% H	$D_{s.s.}$
	(gr)	(gr)	$\frac{P_{s.h.}}{V_{mold.}}$							$\frac{P_{agua}}{P_{s.s.} \times 100}$	$\frac{D_{s.h.}}{1 + \%H}$
			(gr/cm ³)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	%	100,00
1	4342	1533	1,59			89,3	83,6			8,3	1,54
2	4422	1615	1,67			90,9	83,4			10,7	1,59
3	4495	1690	1,75			88,2	79,5			13,1	1,63
4	4559	1756	1,82			98,0	86,9			15,8	1,65
Punto Optimo		0	0							15,8	1,65
5	4531	1727	1,79			94,0	81,84			17,9	1,59
6											
7											



Densidad s.s.máxima ($D_{s.s.máx.}$): 1,65 [gr/cm³]

H_{optima} : 15,8 %

ENSAYO PROCTOR STANDARD

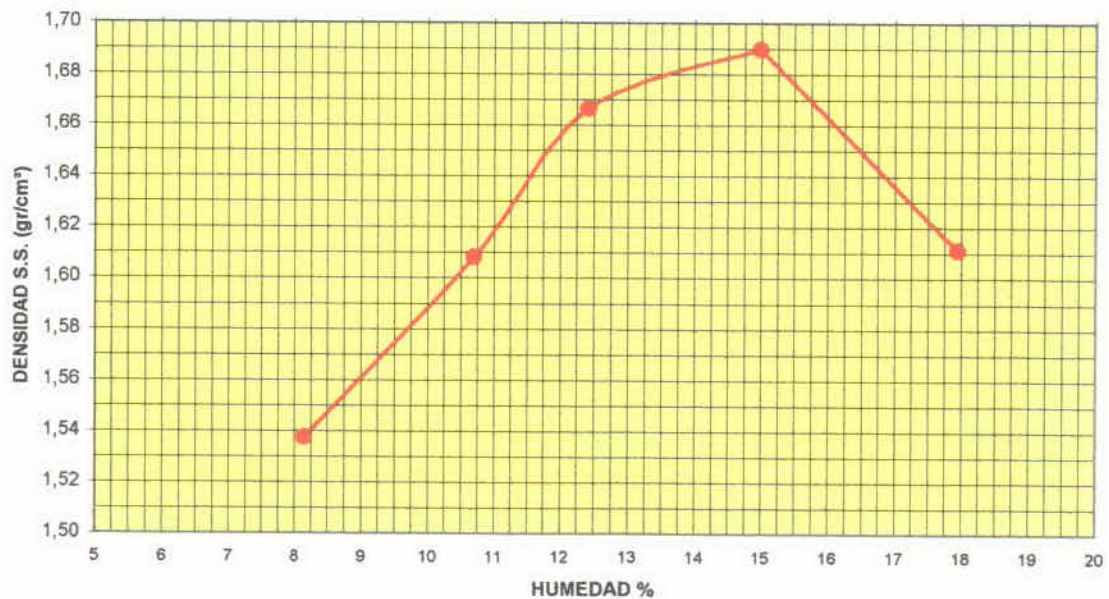
Ubicación: SUELOS FINOS 2

Fecha: Nov 2004

Profundidad : 1,00 m	Ensayo N° 5: Suelo natural
----------------------	----------------------------

Datos del Molde:	N°: 1	Peso (P_{mold}):	3072 gr	Volúmen(V_{mold}):	940,62 cm^3
------------------	-------	----------------------	---------	------------------------	---------------

Punto N°	$P_{sh.} + P_{mold.}$	$P_{s.h.}$	$D_{s.h.}$	N° pesaf.	$P_{pesaf.}$	$P_{s.h.} + P_{pesaf.}$	$P_{s.s.} + P_{pesaf.}$	P_{agua}	$P_{s.s.}$	% H	$D_{s.s.}$
	(gr)	(gr)	$V_{mold.}$ (gr/cm^3)							$P_{agua \times 100}$ $P_{s.s.}$ %	$D_{s.h.}$ 1+ %H 100,00
1	4547	1568	1,67			80,87	73,53			8,1	1,54
2	4660	1680	1,79			71,59	69,44			10,7	1,61
3	4748	1768	1,88			75,91	73,63			12,4	1,67
4	4815	1835	1,95			83,26	80,77			15,0	1,69
Punto Optimo										15,0	1,69
5	4834	1795	1,91			97,28	94,36			17,9	1,61
6											
7											



Densidad s.s. máxima ($D_{s.s. máx.}$): **1,69** [gr/cm^3]

H_{optima} : **15,0** %

ENSAYO PROCTOR STANDARD

Ubicación: SUELOS FINOS 3

Fecha: Nov 2004

Profundidad :		1,00 m		Ensayo N° 6: Suelo natural							
Datos del Molde:		N°: 1	Peso (P_{mold}):		3072 gr		Volúmen(V_{mold}):		940,62 cm^3		
Punto N°	$P_{sh.} + P_{mold.}$	$P_{s.h.}$	$D_{s.h.}$	N° pesaf.	$P_{pesaf.}$	$P_{s.h.} + P_{pesaf.}$	$P_{s.s.} + P_{pesaf.}$	P_{agua}	$P_{s.s.}$	% H	$D_{s.s.}$
	(gr)	(gr)	$P_{s.h.}$									$V_{mold.}$	$\frac{P_{agua} \times 100}{P_{s.s.}}$	$\frac{1 + \%H}{100,00}$
1	4524	1492	1,52			206,2	157,4			8,1	1,46
2	4613	1581	1,64			185,2	173,9			9,9	1,53
3	4697	1665	1,73			157,2	146,1			11,9	1,58
4	4772	1740	1,80			204,9	189,1			14,4	1,61
Pto O	0	0	0							17,1	1,62
5	4818	1785	1,85							17,1	1,62
6	4798	1766	1,83							19,1	1,57
7											



Densidad s.s. máxima ($D_{s.s. máx.}$): 1,62 $[gr/cm^3]$

$H_{óptima}$: 17,1 %

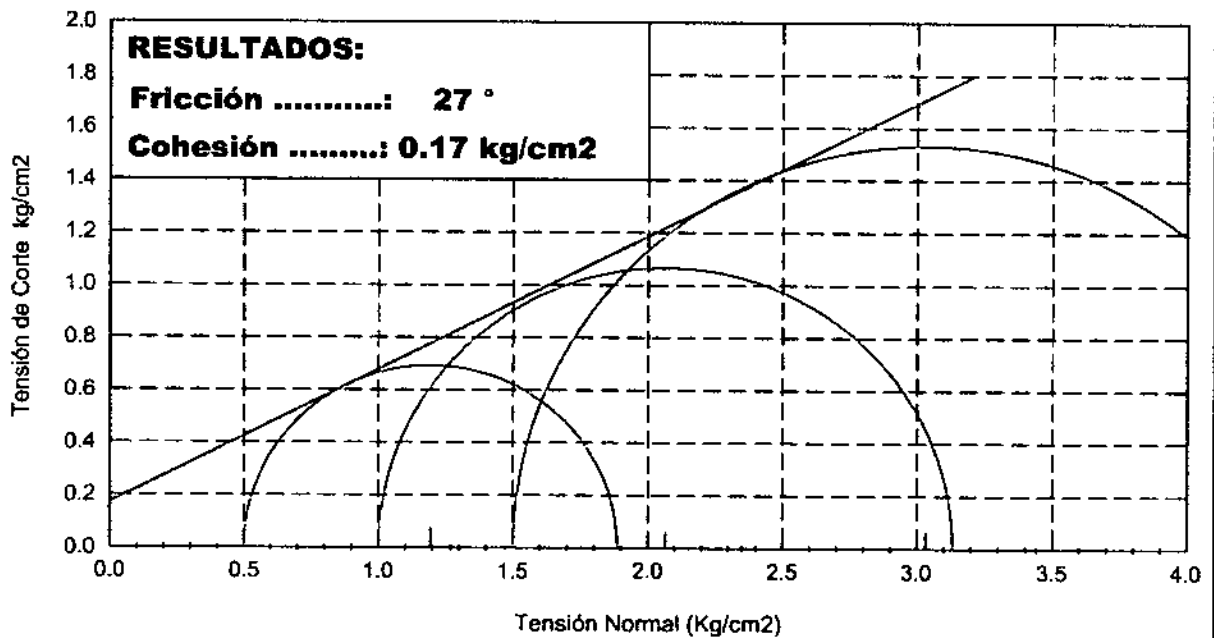
ESTUDIO DE SUELOS

Ensayo Triaxial

(No consolidado, no drenado)

Obra: Finos 1	Localidad: Ampajango
Fecha: Noviembre 2004	Departamento: Santa María - Catamarca
Ubicación: Yacimiento finos	Muestra: Proctor
Profundidad ...: 1.00 m	

DATOS:			Condición de ensayo: Saturado Dens. Proctor 98 % Humedad de ensayo: 21,49 %
0.5 Kg:	R1 = 0.69	C1 = 1.19	
1.0 Kg:	R2 = 1.07	C2 = 2.07	
1.5 Kg:	R2 = 1.53	C2 = 3.03	



Geol. Juan C. Malecki
Te (0351) 4698433

ESTUDIO DE SUELOS

Ensayo Triaxial

(No consolidado, no drenado)

Obra: Finos 2

Localidad: Ampajango

Fecha: Noviembre 2004

Departamento: Santa María - Catamarca

Ubicación: Yacimiento finos

Muestra: Proctor

Profundidad ...: 1.00 m

DATOS:

0.5 Kg: R1 = 0.61 C1 = 1.11

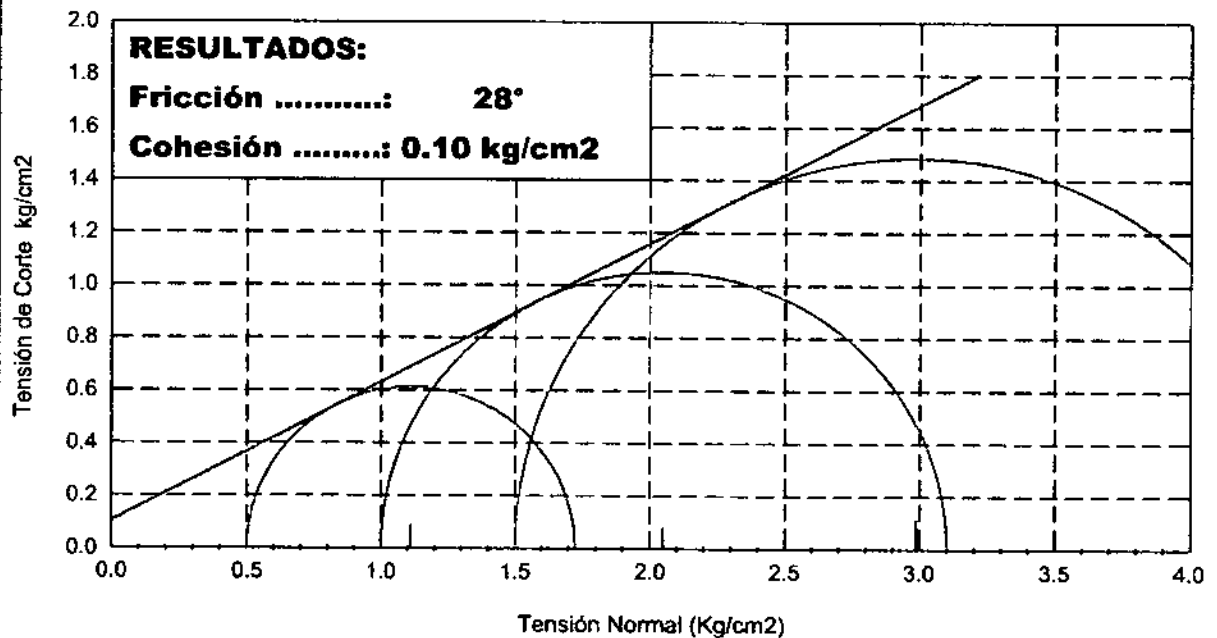
1.0 Kg: R2 = 1.05 C2 = 2.05

1.5 Kg: R2 = 1.49 C2 = 2.99

Condición de ensayo: Saturado

Dens. Proctor 98 %

Humedad de ensayo: 19,40 %



Geol. Juan C. Malecki

Te (0351) 4698433

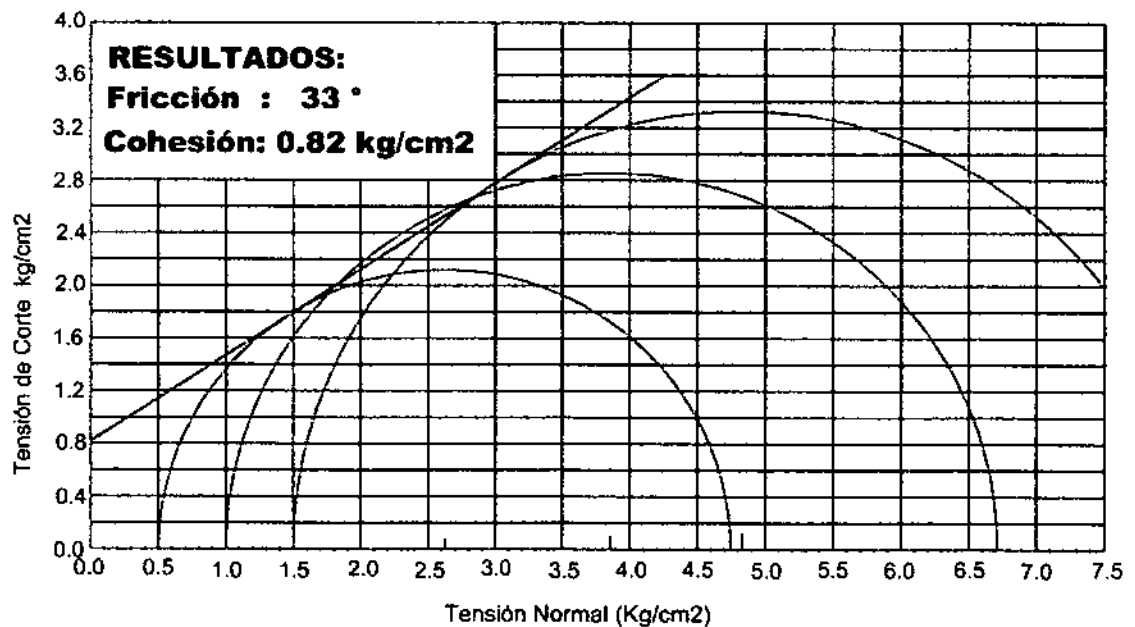
ESTUDIO DE SUELOS

Ensayo Triaxial

(No consolidado, no drenado)

Obra: Finos 3	Localidad: Ampajango
Fecha: Noviembre 2004	Departamento: Santa María - Catamarca
Ubicación: Yacimiento finos	Muestra: Proctor
Profundidad ...: 1.00 m	

DATOS:		Condición de ensayo: Saturado
0.5 Kg:	R1 = 2.12 C1 = 2.62	Dens. Proctor 100 %
1.0 Kg:	R2 = 2.85 C2 = 3.86	Humedad de ensayo: 19,12 %
1.5 Kg:	R2 = 3.33 C2 = 4.83	



Geol. Juan C. Malecki
Te (0351) 4698433

ESTUDIO DE SUELOS

Ensayo Triaxial

(No consolidado, no drenado)

Obra: Finos 3

Localidad: Ampajango

Fecha: Noviembre 2004

Departamento: Santa María - Catamarca

Ubicación: Yacimiento finos

Muestra: Proctor

Profundidad ...: 1.00 m

DATOS:

0.5 Kg: R1 = 0.32 C1 = 0.62

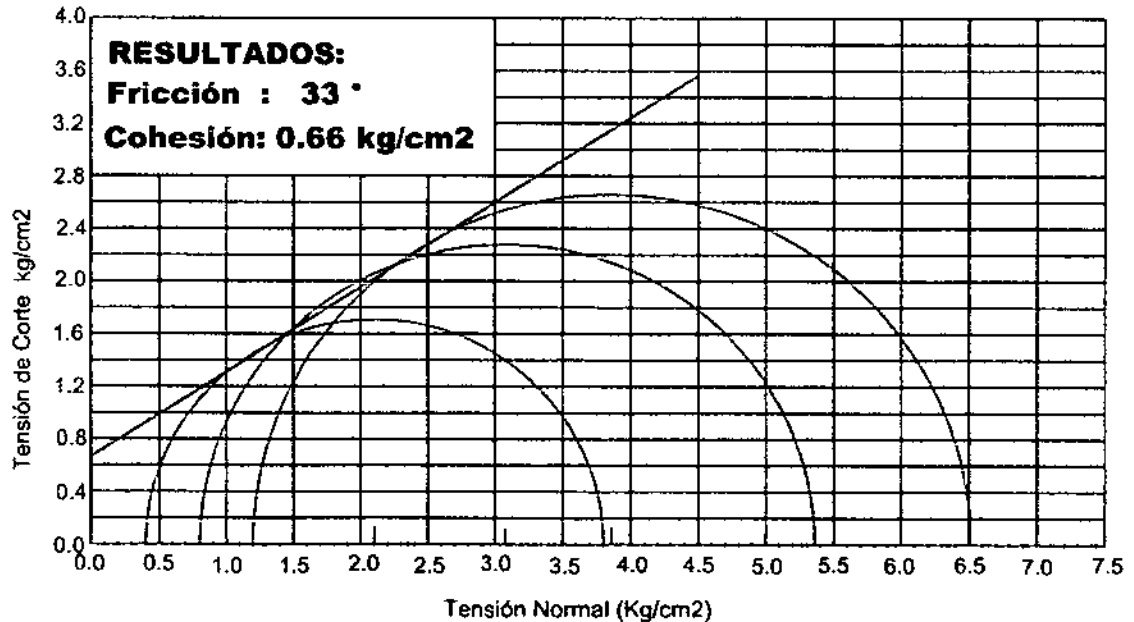
1.0 Kg: R2 = 0.85 C2 = 3.86

1.5 Kg: R2 = 0.53 C2 = 2.83

Condición de ensayo: Saturado

Dens. Proctor 96 %

Humedad de ensayo: 19,48 %

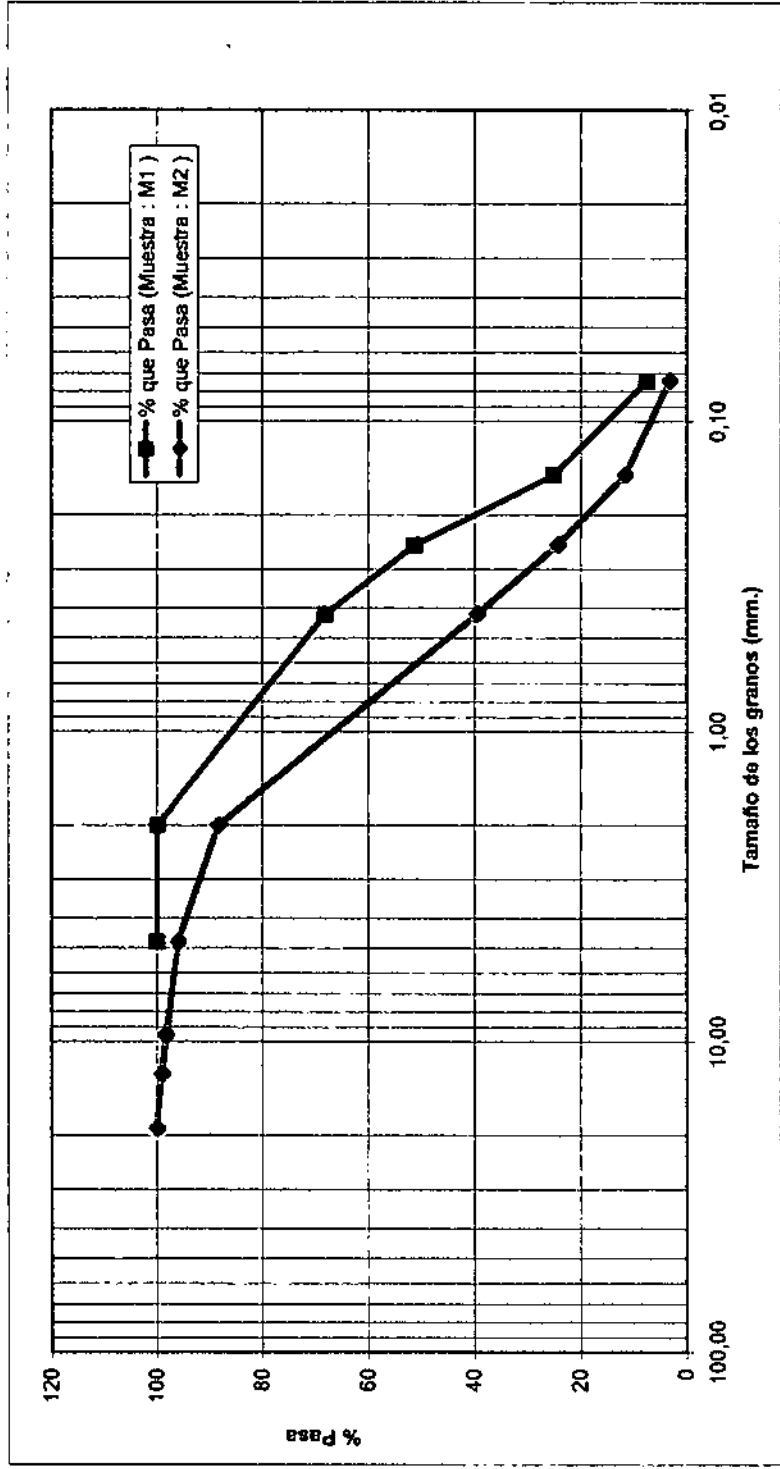


Geol. Juan C. Malecki

Te (0351) 4698433

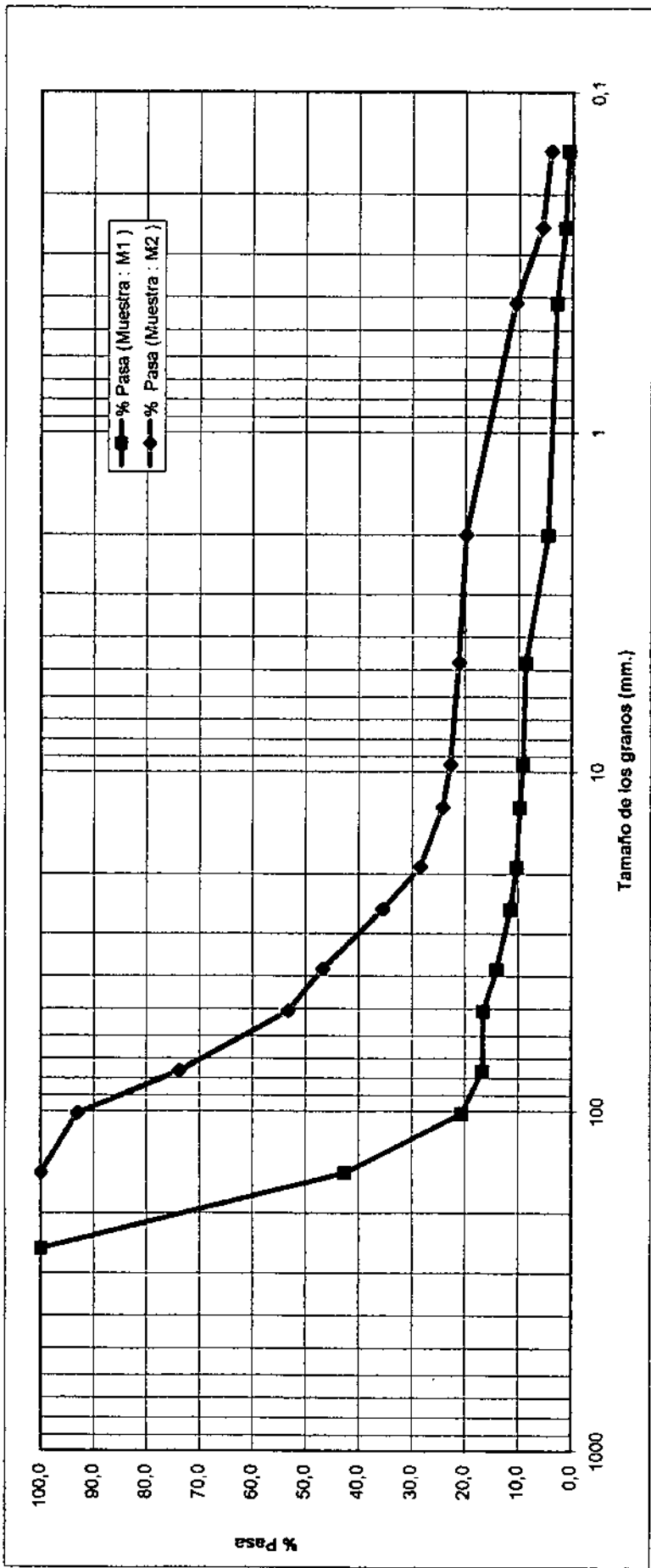
**ENSAYOS DE IDENTIFICACION
AMPAJANGO - YACIMIENTO DE ARENAS**

ANALISIS POR TAMIZADO										
Tamiz en Pulgadas	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 60	N° 100	N° 200	CLASIF. INDICE
Tamiz en mm	19,05	12,70	9,52	4,760	2,000	0,417	0,250	0,149	0,074	UNIFIC. PLAST.
% que Pasa (Muestra : M1)				100	99,9	68,2	51,2	25,1	7,6	SP-SM
% que Pasa (Muestra : M2)	100	99,1	98,2	95,9	88,2	39,5	24,3	11,7	3,2	SW
										NP
										NP



ENSAYOS DE IDENTIFICACION AMPAJANGO - YACIMIENTO DE GRAVAS

ANALISIS POR TAMIZADO																	
Tamiz en Pulgadas	10	6	4	3	2	1,5	1	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 60	N° 100	CLASIF. UNIFIC.	INDICE PLAST.
Tamiz en mm	254	152,40	101,60	76,20	50,80	38,10	25,40	19,05	12,70	9,52	4,78	2,00	0,42	0,25	0,15	GW	NP
% Pasa (Muestra : M1)	100,0	42,6	20,6	16,7	16,5	14,0	11,5	10,2	9,7	9,1	8,6	4,5	2,9	1,3	0,7	GW	NP
% Pasa (Muestra : M2)		100,0	93,1	73,8	53,3	46,7	35,5	28,4	24,2	22,7	21,1	19,8	10,6	5,6	4,0	GW	NP




HIDROMEDITERRANEA S.R.L.
Empresa calificada por ENOHS (Ingeniería Sanitaria, Estudios Ambientales) Resolución N° 95/98

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA

POTABILIDAD

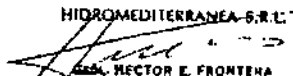
Propietario:	Geol. Raúl Ceresales	Anal. N°:	11.417
Domicilio:		Fecha:	25/10/2004
Localidad:		Provincia:	Catamarca
Fuente:	Río Ampajungo	Departamento:	Santa María
Lugar de extracción:	Muestra extraída por el solicitante		

Determinaciones	Valores	Lim. Max. Adm.	Unidades
Color	8	15	U.
Olor (25 °C)	Inodora	-	-
Turbiedad	0,4	3	U.N.T.
Sólidos en Suspensión	No Contiene	No se admite	-
Sedimentos	No Contiene	No se admite	-
pH.	7,7	-	U.
Conductividad eléctrica	290	-	µs/cm
Sólidos Disueltos Totales (105 °C)	248	2000	mg/l
Alcalinidad Total (CO ₃ Ca)	120	800	mg/l
Dureza Total (CO ₃ Ca)	90	500	mg/l
Cloruros (Cl)	6	400	mg/l
Sulfatos (SO ₄)	18	400	mg/l
Fluoruros (F ⁻)	0,20	*1,00	mg/l
Nitratos (NO ₃ ⁻)	3,5	45,0	mg/l
Nitritos (NO ₂ ⁻)	0,005	0,100	mg/l
Amonio (NH ₄ ⁺)	0,05	0,50	mg/l
Arsénico (As)	< 0,010	0,100	mg/l
Hierro Total (Fe)	0,05	0,20	mg/l
Sodio (Na)	25,00	-	mg/l
Potasio (K)	40,00	-	mg/l
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	No Contiene	-	mg/l
Bicarbonato (CO ₃ H)	146,40	-	mg/l
Calcio (Ca)	21,60	-	mg/l
Magnesio (Mg)	8,80	-	mg/l
Relación de absorción de sodio (R.A.S)	1,15	-	-

Nota: Los límites máximos admisibles son fijados por la D.I.P.A.S. de acuerdo a la resolución 608/93.

** Para temperaturas Media Máxima del Año comprendidas entre 21,5 a 26,2 °C.*

Observaciones:

HIDROMEDITERRANEA S.R.L.

 HECTOR E. FRONTENA
 SOCIO GERENTE

HIDROMEDITERRANEA S.R.L.

Empresa calificada por ENOISA (Ingeniería Sanitaria, Estudios Ambientales) Resolución N° 95/98

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA

AGRESIVIDAD AL HORMIGON

Propietario:	Geol. Raúl Ceresales	Anal. N°:	11.418
Domicilio:		Fecha:	25/10/2004
Localidad:		Pcta.:	Catamarca
Fuente:	Río Ampajango	Dpto.:	Santa María
Lugar de extracción:	Muestra extraída por el solicitante		

Determinaciones	Valores	Lím Max Adm	Unidades
pH.	7,7	No Menor 7	U.
Sólidos Disueltos Totales (105 °C)	245	500	mg/l
Alcalinidad Total (CO ₂ Ca)	146,4	100	mg/l
Cloruros (Cl)	6	100	mg/l
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	18	500	mg/l
Hierro Total (Fe)	0,05	0,50	mg/l
Calcio (Ca)	21,60	-	mg/l
Magnesio (Mg)	8,80	-	mg/l
Materia Orgánica (MnO ₂ K)	1,40	3	mg/l

Observaciones: Agresividad al Hormigón: según Norma Iram N° 1601
Apta para amasado y/o curado del Hormigón.

HIDROMEDITERRANEA S.R.L.

Geol. HECTOR B. FRONTERA
SOCIO GERENTE