

PROVINCIA DE CATAMARCA
CONSEJO FEDERAL DE
INVERSIONES

EVALUACION DE ARRASTRES DE SEDIMENTOS
A LA PRESA "EL SHINCAL"



INFORME FINAL

Diciembre de 2005

GEOL. OSVALDO LUIS BARBEITO

PROVINCIA DE CATAMARCA
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

EVALUACIÓN DE ARRASTRES DE SEDIMENTO
A LA PRESA EL SHINCAL

INFORME FINAL

Diciembre de 2005

Geol. Osvaldo Luis Barbeito

Profesionales participantes

Geol. Silvio Ambrosini

Dr. Carlos Beltramone

Geol. Juan C. Malecki

Ing. Civil Roberto Nores

INDICE

	Pag.
1.- INTRODUCCION	4
2.- RESUMEN DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS	7
3.- OBJETIVOS	8
4.- METODOLOGIA	8
5.- RESULTADOS	10
5.1.- HIDROGRAFIA	10
5.2.- GEOLOGIA – GEOMORFOLOGIA	13
5.3.- VEGETACIÓN NATURAL	26
5.4.- USO DEL SUELO	29
6.- APLICACION DEL MODELO: RESULTADOS	29
7.- ESTIMACION DE LA PRODUCCION DE MATERIALES FINOS EN LA CUENCA DEL A° PIEDRA LARGA	31
8.- EFECTOS DE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE	34
9.- ANTEPROYECTO DE ESTRUCTURAS DE CONTROL	37
9.1.- TECNICAS DE CORRECCION DE TORRENTES	37
9.2.- ESTABILIZACION DE CAUCES TORRENCIALES	40
10.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
11.- BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	47

ANEXOS

A) FOTOGRAFIAS

B) PLANOS

D) INFORMACIÓN GRANULOMETRICA

C) INFORMACION PLUVIOMETRICA

E) SOPORTE ÓPTICO

1.- INTRODUCCION

Para una mejor comprensión de la necesidad del presente estudio, se incluye un resumen del Proyecto de la Derivación del A°. Piedra Larga, como parte del Proyecto El Shincal.

La ciudad de Londres, principal localidad de la zona de influencia del proyecto El Shincal se ubica en el departamento Belén, Distrito de riego Londres, en la región oeste de la provincia de Catamarca y tiene una población de aproximadamente 3000 habitantes.

En el departamento se cultivan actualmente Nogales, Vid y Olivos, representando el 6.7% del total del área irrigada provincial (3.346 ha bajo riego, con 2.606 ha con riego superficial y 740 ha con presurizado).

La situación actual de la zona de influencia del proyecto puede definirse desde el punto de vista agro-hidrológico como caracterizada por una distribución no uniforme del recurso agua, con excesos en épocas de lluvias que no son aprovechados, y con un marcado periodo de déficit en los meses de septiembre a diciembre.

El abastecimiento de agua potable y riego se realiza, en la actualidad, exclusivamente por medio de una toma libre precaria construida sobre la margen izquierda del río Quimivil al que aportan los ríos Colorado y Piedra Larga. La variabilidad de caudales de éste curso durante el año, se traduce en inaceptables turnados de riego, de hasta sesenta a setenta días en las épocas de caudales mínimos, los que coinciden con el periodo de mayor requerimiento hídrico, situación que provoca un muy bajo rendimiento en las plantaciones de nogal.

Para revertir esta situación de déficit de agua para riego, de carácter histórico, en esta localidad de Londres, se propuso la construcción de un embalse (reservorio) en la cuenca del Río Hondo, paralela al Río Piedra Larga, transfiriendo desde esta última un caudal máximo de 2 m³/seg, durante la época de las lluvias, la que normalmente se extiende entre los meses de diciembre a abril. En el resto del año y de ser necesario, la bocatoma puede

anularse total o parcialmente con una compuerta que ha sido incluida en el proyecto.

La cuenca del Río Hondo no tiene cursos de agua permanente, solo los temporarios y de carácter torrencial que se generan en la época de las lluvias.

Con la construcción del embalse "El Shincal", ubicado en el cauce del río Hondo, se podrán almacenar y regular los volúmenes para ser entregados luego para riego, cada año, en el período de septiembre a diciembre.

Las obras de captación y derivación de los caudales están proyectadas para una capacidad máxima de 2 m³/seg, en los meses de excedencia del Río Piedra Larga hacia el Colector Occidental, tributario al embalse denominado el Shincal, como parte de los proyectos que constituyen el aprovechamiento integral de los recurso hídricos de los Ríos Hondo y Piedra Larga.

El azud proyectado es una estructura de H° que contiene la obra de toma propiamente dicha. Atendiendo a la cantidad de sedimento que arrastra particularmente en crecidas este curso y al tamaño de los mismos, la bocatoma se constituye con una reja colocada en el coronamiento del azud; a sabiendas que durante la vida útil de la obra, el cierre se ira colmatando hasta llegar a funcionar como toma de fondo y un canal de aducción dentro del cuerpo del cierre.

Las obras de tratamiento y conducción se ubican sobre la margen izquierda, primeramente contorneando una ladera rocosa, pasando luego por una meseta de suave pendiente para atravesar finalmente y con un túnel un macizo rocoso de areniscas y andesitas, con tapadas de hasta 200 m.

La descarga se realiza al Colector Occidental, aproximadamente 3500 m aguas arriba del lugar previsto para el cierre El Shincal.

En la bocatoma se proyecto una reja de 12,50 m de longitud y 1,20 m de ancho, por la que ingresan caudales de hasta 2m³/seg al canal de aducción. Este es de sección rectangular de H° 1,07 m de profundidad aguas arriba, pendiente de 2%, 17,5 m de longitud y descarga en una Cámara Recolectora.

Entre la cámara y el canal se proyectó una compuerta metálica de accionamiento manual, rectangular, del mismo ancho que el canal 1,20 x 0,70 de altura que cumple las siguientes funciones:

- Control de excesos para caudales del río mayores a los de proyecto.
- Cerrar el ingreso de agua en épocas de estiaje.
- Facilitar las tareas de mantenimiento.

Las obras de tratamiento se conforman a partir de la cámara, con un canal desripiador de 26,20 m de longitud, 1,60 m de ancho, sección rectangular de hormigón excavada en la roca y pendiente del 3%.

Con la finalidad de evacuar los caudales que excedan los 2 m³/seg, se proyectó un vertedero lateral de 12,00 m de longitud. En el fondo, al final del desripiador se ubicó otra compuerta de limpia de idénticas características a la descrita anteriormente.

En la pared sur del desripiador, un vertedero rectangular de 1,60 m de ancho controla el ingreso del agua al desarenador.

El desarenador es un cuenco rectangular de 15 m de longitud y 4,8 m de ancho, 2,10 m de profundidad al inicio y pendiente del 3%. Al igual que en el desripiador, al finalizar la obra se colocó una compuerta de limpia y la pared sur contiene un vertedero de 1,60 m de ancho que controla el ingreso al canal de conducción. El desarrollo longitudinal de estas obras (cámara-desripiador-desarenador) es de 41,20 m

La conducción desde el desarenador y hasta el portal de ingreso al túnel posee tres tramos bien diferenciados por las condiciones geológicas, lo cual llevó a adoptar diferentes tipos de estructuras a los fines de garantizar la estabilidad de la obra.

En la progresiva 1309,80 se inicia el portal de acceso al túnel, esta obra completa la obra de derivación.

El túnel atravesará básicamente dos tipos de materiales: el primero, rocas sedimentarias, correspondientes a areniscas del terciario. El segundo corresponde a rocas cristalinas (andesitas) hasta la salida sobre el Colector Occidental.

El túnel tendrá una sección de 3,40 m² y una pendiente de 0,001m/m y su longitud total es de 1037,50 m

En la descarga, en el colector Occidental, se proyectó una rápida de 8,5 metros de desarrollo longitudinal para salvar 5,7 m de desnivel.

2.- RESUMEN DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS

Los volúmenes de sedimentos producidos por una cuenca y el grado de erosión exhibido por la misma, pueden ser evaluados en forma directa a través de relevamientos topográficos y batimétricos en presencia de embalses o mediante la utilización de mediciones sistemáticas de caudales sólidos en los cursos de agua.

En el caso de cuencas sin aforos de caudales sólidos, como en las cuencas del río Piedra Larga y Río Hondo, es necesario recurrir a técnicas indirectas o aproximadas para estimar las potenciales producciones de sedimento anuales a partir de información hidrológica, geomorfológica, fisiográfica y uso del suelo en la cuenca.

En el presente trabajo se aplica la metodología empírica propuesta por GRAVILOVIC, fundamentalmente por su efectividad comprobada, cuando se la ha aplicado en cuencas de montaña.

Para ello se tiene en cuenta información geológica, geomorfológica, climática, hidrológica, fisiográfica y de uso del suelo en las cuencas.

Como resultado se obtienen las siguientes cartas temáticas a escala 1:20.000: Carta Base con curvas de nivel con equidistancia de 50 mts.; Carta

Hidrográfica; Carta de Vegetación Fisonómico-estructural y Carta Geológica - geomorfológica.

Por su parte en lo referente a la producción de sedimentos mediante la aplicación del modelo propuesto, se obtienen valores por erosión superficial y transporte producido a la sección final de ambas cuencas, expresados en m³/año/km².

3.- OBJETIVOS

Realizar Estudios de base geológica y geomorfológica dirigidos a obtener el cálculo y balance de los valores de producción media de sedimentos en las cuencas del Río Hondo y Aº Piedra Larga, tributarios de la Presa el Shincal, a la vez de realizar un inventario de los sectores en donde se hace necesario la implementación de obras para el control de los procesos de erosión y sedimentación.

4.- METODOLOGIA

La información geológica, geomorfológica, fisiográfica y de uso del suelo, se obtiene mediante la aplicación de las técnicas de la fotointerpretación y la Teledetección, empleando fotografías aéreas del año 1965 a escala aproximada 1:50.000 e imagen satelital TM, a escala 1:250.000 en bandas 1,2 y 3.

Los datos pluviométricos y de temperatura, se obtienen de series históricas de precipitación diaria (con interrupciones), correspondientes a la estación Pozo de Piedra (fuente: Dirección de Obras Hidráulicas de la Provincia de Catamarca DOHC).

Como información cartográfica se utiliza la HOJA BELÉN 2766-25 con equidistancia de 50 m. a escala 1:100.000, editada por el Instituto Geográfico Militar en el año 1985, ajustada a escala 1:20.000 a la base satelital, generando lo que se dio en denominar CARTA BASE (Carta N° 1).

Para el cálculo de la producción de sedimentos se aplica la metodología de Gavrilovic, la cual estima el volumen de sedimento en m³ /año por erosión superficial (W) y del coeficiente de retención (R), a través de variables tales como; topografía, clima, tipo de suelo, uso de suelo, vegetación, características litológicas y geomorfología. Este método se basa en el cálculo de la producción media anual de sedimento por erosión superficial y en el cálculo del coeficiente de redepositación o retención de sedimentos.

El cálculo del volumen de sedimento producido por erosión superficial y transportada a la sección final de la cuenca, se obtiene según la fórmula:

$$G = W \cdot R$$

donde:

W = volumen promedio anual erosionado de sedimento (m³ / año)

R = coeficiente de redepositación o de retención de sedimento

siendo:

$$W = T \cdot h \cdot \pi \cdot Z^{3/2} \cdot F \quad m^3/año$$

donde:

W_c = volumen promedio anual erosionado de sedimento (m³ / año) para cada subcuenca

h = precipitación media anual (mm/año)

F_c = superficie de la subcuenca (km²)

Z = coeficiente de erosión

T = coeficiente de temperatura

Siendo:

$$T = [(t/10) + 0.1]^{1/2}$$

Donde:

t = temperatura promedio anual

y

$$Z = X \cdot Y \cdot (\varphi + l^{1/2})$$

donde:

X = coeficiente de uso del suelo

Y = coeficiente de resistencia del suelo a la erosión

ϕ = coeficiente que evalúa los procesos erosivos observados

I = gradiente de la pendiente superficial

Por lo que el volumen promedio anual erosionado de sedimento (m^3 / año) para la totalidad de la cuenca alta del río Cuarto

$$W = (T h \pi Z^{3/2} F_c)$$

Por su parte el valor R se obtiene de:

$$R = [(O D)^{1/2} (L_c + L_i)] / (L_c + 10) F$$

donde:

O = perímetro de la cuenca (km)

D = diferencia de nivel media en la cuenca (km)

L_i = longitud total de los afluentes fluviales laterales (km)

L_c = longitud de la cuenca por talweg del cauce principal

F = superficie de la cuenca

Finalmente se calcula el valor de volumen promedio (G_c) para cada una de las subcuencas:

$$G_c = W \cdot R$$

5.- RESULTADOS

5.1.- HIDROGRAFIA

La cuenca del Río Hondo y la cuenca del A° Piedra Larga, pertenecen a sistemas hidrográficos de carácter endorreico con explayamientos e insumos en el Campo de Belén, en donde el sector mas deprimido lo constituye el Salar de Pipanaco.

La primera tiene nacientes y en niveles pedemontanos que rellenan el Bolsón de Belén, entre los 2250 m.s.n.m. y 2000 m.s.n.m. y en la vertiente occidental de la Sierra de Belén, entre altitudes que oscilan entre los 1750

m.s.n.m. y los 2250 m.s.n.m. Hasta el sitio de cierre se conforma por dos subcuencas principales (A y B de la Carta N° 2) y alcanza una extensión de 23,07 km².

Por su parte la segunda tributaria del río Quimivil, tiene nacientes en la vertiente oriental del Cordón de Los Colorados, en altitudes que oscilan entre los 3190 m.s.n.m. y 3360 m.s.n.m. Hasta el cierre del dique nivelador, se compone según tres subcuencas principales y una menor: la del Río Potrerillos (C de carta N° 2), la subcuenca del A° El Rodeo (D de carta N° 2). Una Subcuenca del A° Piedra Larga propiamente dicho (E de carta N° 2) y una de menor magnitud no identificada en la toponimia desagua inmediatamente aguas arriba del cierre del dique nivelador (F de carta N° 2). El conjunto abraza un área de 33,92 km².

La cuenca del Río Hondo dado la permeabilidad del material geológico predominante (sedimentos cuaternarios), es de carácter torrencial temporario, con crecidas en el periodo diciembre-abril, ha diferencia de la cuenca del A° Piedra Larga, que por tener nacientes a mayor altitud , predominancia de material geológico de baja permeabilidad (granito) y una mayor extensión, tiene carácter permanente.

PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS

CUENCA	ÁREA km ²	PERIMETRO km	LONG. CURSO PRINCIPAL km	DISTANCIA VERTICAL m	LONGITUD TOTAL CURSOS km	DENSIDAD DRENAJE km/km ²	NUMERO DE RÍOS n° ríos/km	PENDIENTE CUR. PRINCIPAL %
RÍO HONDO	23,07	23	12,6	2340-1500= 840	71,4	71,4/23,7 3	102/23,5 4,3	6,7
PIEDRA LARGA	33,92	26	9,8	3360-1925= 1435	125,4		175/33,92 5,2	14,6

5.2.- GEOLOGÍA – GEOMORFOLOGÍA

Fallas de magnitud regional con el estilo tectónico de las Sierras Pampeanas, con alzamiento brusco al oeste y basculamiento tendido hacia el este, definen la depresión estructural del extremo sur del Bolsón de Belén. Al oeste el macizo del Cordón Los Colorados y al este, el macizo de la Sierra de Belén. El primero elevado por encima de los 3.100 m.s.n.m. y el segundo con menor magnitud, hasta los 2100 m.s.n.m.

La vertiente oriental del Cordón Los Colorados, conforma el área de recepción de la cuenca del A° Piedra Larga y por su parte la vertiente occidental de la Sierra de Belén asociada al abrupto de falla occidental del macizo y niveles pedemontanos en el fondo del bolsón, conforman el área de recepción del Río Hondo.

La falla que limita por el este al macizo del Cordón Los Colorados, forma parte de una faja de fallamiento de orientación NE – SO, evidente en el fuerte control que ejerce en el drenaje, en primera instancia la falla principal, en el trazo recto que adopta el río Quimivil y luego, en el trazo recto que adopta el colector principal de su afluente A° Piedra Larga y en el control que produce un falla secundaria en el colector principal de la subcuenca oeste del río Hondo.

Esta faja de fallamiento es responsable del afloramiento de los materiales terciarios al pie de sierra y de la actual desconexión morfológica que presenta el nivel pedemontano antiguo (nivel II), con respecto al frente de sierra, por efecto del valle estructural por el que corre el A° Piedra Larga. La presencia de facetas triangulares en la falla principal del pie de sierra y la falla secundaria que afecta un nivel agradación pedemontano, indican la actividad neotectónica de esta estructura.

Estructura y litología bajo las condiciones climáticas de la región, definen unidades lito-morfológicas con características propias, en particular, desde el

punto de vista morfodinámico, aspecto de vital importancia para la vida útil de las presas programadas (Carta N° 3).

Unidades

A.- Relieve de montaña muy fuerte. Cordón Los Colorados y Sierra de Belén.

Este paisaje se relaciona con el basamento cristalino ígneo que compone el macizo del cordón Los Colorados por el oeste y la Sierra de Belén, por el este, en donde las condiciones morfo-estructurales y la altitud permiten considerar dos unidades.

A1.- Unidad Vertiente oriental del macizo del Cordón Los Colorados.

La unidad se corresponde con la vertiente oriental tendida del macizo de mayor altitud que limita por el oeste al Bolsón de Belén, elevado por encima de los 3.300 m.s.n.m. La pendiente regional se descompone según dos bloques principales: el más elevado al oeste y otro a menor altitud, que con el mismo estilo tectónico se levanta en forma fuerte al oeste y bascula en forma tendida al este. Ambos bloques definen un valle estructural asimétrico por el que corre la subcuenca oeste del A° Piedra Larga.

Naturaleza geológica:

El material netamente dominante se representa por granito migmático de grano grueso a porfiroide (eopaleozoico), que se presenta moderadamente fracturado y diaclasado según dos direcciones entrecruzadas en ángulo casi recto y una tercera subhorizontal (foto N° 1).

Los procesos de meteorización mecánica son netamente predominantes sobre los procesos químicos, regidos por el clima árido y frío, en donde la amplitud térmica diurna y la crioclastia por efecto de la altitud, son los principales agentes de destrucción. Estos se manifiestan en forma de disgregación granular y

fragmentación en bloques, con importante intensidad regida por el grano grueso y el diaclasado del material.

Como resultado se han generado cubiertas residuales de cierta continuidad alternantes con porcentajes de roca desnuda no superiores al 30%, sobre las que han evolucionado suelos litosólicos de texturas franco limosas con cierto aporte eólico, altamente susceptibles a la erosión hídrica.

Morfología:

El relieve de montaña es fuerte con pendientes medias superiores al 35%, por la alternancia de Interfluvios de remate en crestas bien definidas y los valles elongados en "V", con escasa o nula carga aluvional por fuerte capacidad de carga y competencia de la escorrentía. Las laderas de fuerte inclinación son tendidas y de moderada rugosidad y resaltos topográficos aislados debido a la continuidad de la cubierta residual - suelos.

Drenaje:

En el área de recepción del sistema del A° Piedra Larga, los tributarios de la red presentan diseño dendrítico angular de moderada densidad, dado la baja permeabilidad y el control estructural ejercido por el diaclasado, fracturación y fallamiento que presenta el material granítico.

Los colectores principales de tercer orden de jerarquización, corren con trazos rectos y elongados fuertemente encajados por disección fluvial en valles simétricos en "V"

Procesos morfodinámicos:

La fuerte energía del relieve y las pendientes tendidas de las laderas, rige escurrimiento elemental de fuerte capacidad de arranque y transporte en los interfluvios, lo que determina que la acción del escurrimiento superficial genere un importante grado de erosión en las cubiertas residuales derivadas de la meteorización.

Por su parte la concentración de la esorrentia en los colectores de la red de drenaje por la misma causa, adquiere alta capacidad de carga y competencia.

Los procesos de remoción en masa se presentan como flujos lentos en forma de reptación en mantos localizada y como movimientos rápidos en forma de desprendimientos de gravedad por caídas de bloques heterogéneos en los valles en "V" favorecidos por diaclasado, fracturación y crioclastía (foto N° 2).

Aporte de detritos a la red de drenaje:

Fracciones arenas-limo-arcillas y bloques heterogéneos.

A2.- Unidad Vertiente occidental abrupta de la Sa. de Belén

Los bloques que conforman la Sierra de Belén, se ajustan al estilo tectónico de las sierras Pampeanas con alzamiento brusco al oeste y basculamiento tendido hacia el este.

El alzamiento de los bloques en este caso a diferencia de la Sierra de Zapata, fue de menor altitud, no superando en el tramo incluido en la cuenca los 2100 m.s.n.m.

Forma parte de la cuenca hidrográfica del río Hondo la vertiente occidental genéticamente relacionada con el abrupto de falla.

Naturaleza geológica:

La roca dominante en forma absoluta sigue siendo el granito migmático de grano grueso a porfiroide presente en la sierra de Zapata (eopaleozoico), con cubiertas residuales derivadas de la meteorización mecánica de similares características, pero de mayor discontinuidad con respecto a la roca desnuda que aflora en porcentajes superiores al 40%.

Morfología:

El relieve de montaña sigue siendo fuerte, con pendientes medias superiores al 35%, pero en este caso la morfología es mas intrincada por la mayor grado que alcanzó la disección fluvial por parte de la red de drenaje de alta densidad.

La morfología se traduce en una paisaje intrincado de interfluvios en crestas definidas y valles profundos en V, lo que confiere fuerte rugosidad a los interfluvios.

Drenaje:

La red de drenaje aporta a la cuenca del río Hondo, según cuatro subcuencas temporarias de escaso desarrollo, tres de segundo orden de jerarquización y la mas septentrional, que alcanza el tercer orden.

El diseño en su conjunto es de alta densidad dendrítico angular, con fuerte control estructural por fallamiento, fracturación y diaclasado, siendo el mas notable el de orientación NO-SE.

Los tributarios son cortos de trazos rectos encajados en valles en "V", por fuerte disección y sin carga aluvional por la alta capacidad de carga y competencia que adopta la escorrentía en respuesta a la energía del relieve.

Procesos morfodinámicos:

El escurrimiento superficial de modalidad difusa afecta por erosión hídrica a las cubiertas residuales de alta susceptibilidad.

Los procesos de remoción en masa en gran parte condicionados por el tipo litológico, se rigen por los mismos procesos presentes en el macizo de la Sierra de Zapata; pero en este caso con menor intensidad, debido a la disminución de la altitud.

Aporte de detritos a la red de drenaje:

Fraciones arenas-limo-arcillas y bloques heterogéneos.

B.- Bolsón de Belén.

El relieve positivo por el alzamiento de los macizos de las sierras De Zapata y Belén y el descenso de los bloques comprendidos entre ambos, ha dado lugar a una depresión tectónica en forma de bolsón, comprendiéndose en la zona de estudio, su extremo sud-occidental.

En esta depresión predominan netamente las formas fluviales deposicionales que se presentan en tres niveles de agradación pedemontana: Nivel I, Nivel II y Nivel III. De estos niveles el Nivel I, se presenta como relicto en un paisaje de valle erosivo condicionado por la litología y la estructura.

Esto permite diferenciar las siguientes unidades geológicas-geomorfológicas:

B1.- Unidad. Valle estructural del A° Piedra Larga.

Al pie de la Sierra de Los colorados por efecto de la falla oriental ligada al alzamiento del macizo y la baja resistencia del material geológico de edad terciaria que aflora en forma subvertical adosado a este, ha evolucionado por la acción erosiva fluvial del A Piedra Larga, un valle estructural estrecho y elongado, que separa los antiguos niveles pedemontanos del frente de la sierra.

Naturaleza geológica:

Esta unidad desde el punto de vista geológico, se compone por una antigua cubierta de conglomerados polimícticos de matriz areno-limosa de bajo grado de consolidación asociada a paleo abanicos aluviales. Esta cubierta representa el Nivel I de agradación pedemontana mas antiguo (rodados de la Puna), probablemente de edad Plioceno superior a pleistoceno inferior, que en forma discontinua se sobrepone en discordancia a areniscas tobáceas y finas de fuerte estratificación, subverticales, muy friables y a rocas hipabisales andesíticas (terciario). (foto N° 3).

Completan el marco los depósitos aluvionales recientes asociados a los colectores principales de la red de drenaje.

Morfología:

La morfología deprimida de la unidad, responde al carácter muy friable de los depósitos terciarios y/o cuaternarios, en donde se da la alternancia de geofomas en el fondo de valle, dependientes de la litología. A partir de la cubierta de conglomerados polimícticos, han evolucionado lomadas y en partes, relieves tabulares en forma de relictos aislados, perdiéndose por completo la morfología original de bajada y en los materiales terciarios cuando afloran, dado su diversidad y predominancia de areniscas muy friables, ha evolucionado un relieve intrincado de "tierras malas" con alturas dominantes aisladas en forma de filos, asociadas a las rocas de carácter ígneo resistentes (andesitas).

El material aluvional reciente se presenta aterrazado a las márgenes de los colectores principales de la red de drenaje.

Drenaje:

La unidad no presenta drenaje propio característico, adoptando el colector principal de la subcuenca del A° Piedra Larga, un diseño predominantemente rectilíneo por fuerte control estructural.

Procesos morfodinámicos:

El bajo grado de consolidación del material geológico predominante, determina una intensa acción del escurrimiento superficial en forma de erosión hídrica difusa y concentrada intensa y generalizada, responsable del paisaje de tierras malas. En interfluvios se asocian deslizamientos de tierra y desprendimientos de gravedad en forma de bloques ligados a las rocas andesíticas. (foto 2).

Aporte de detritos a la red de drenaje:

Neto predominio de las fracciones arcilla-limo, sobre arenas y bloques.

B2.- Nivel II de agradación pedemontana

Separado del frente de la sierra de Zapata-Los Colorados por la depresión tectónica del valle por el que corre el A Piedra Larga, se presenta un antiguo nivel de agradación pedemontana probablemente ligado a un nuevo ascenso. Dicho valle tectónico que perturba la relación lateral con el nivel antecedente, corrobora la ocurrencia de un importante episodio erosivo entre la formación de ambos (foto N° 4).

Naturaleza geológica:

El material geológico se compone de potentes depósitos limo-loésicos gruesos con intercalaciones y tapada fanglomerados, presumiblemente asociados a un ascenso en el pleistoceno.

Morfología:

La morfología en respuesta al fuerte grado de disección que presenta el nivel, es de colinas con ausencia de las formas tabulares primitivas de la bajada pedemontana. Los Interfluvios son angostos con remates en crestas bien definidas, laderas inclinadas sin resaltos topográficos y alta densidad de valles en "V" debido a la fuerte disección erosiva que presenta el nivel.

El análisis de las fotografías aéreas evidencia afectación por procesos de neotectónica, lo que corrobora su antigüedad.

Drenaje:

Red de drenaje es densa de diseño subparalelo en forma de espinazo de pez, con un colector principal elongado que recibe a ambos márgenes tributarios cortos y paralelos, diseño característico de las rocas sedimentarias clásticas.

Procesos morfodinámicos:

Los procesos morfodinámicos se evidencian claramente en la marcada disección generada por erosión concentrada por acción del escurrimiento elemental concentrado (valles en V), favorecida por alta susceptibilidad a la erosión hídrica del material geológico y suelos.

Por su parte como procesos de remoción en masa, se evidencian flujos lentos en forma de reptación en mantos generalizada (foto N° 5) y de alto grado, acompañados de deslizamientos de tierra frecuentes con claras cicatrices de despegue en laderas (foto N° 6) y desplomes por socavamiento de pendientes por los cursos de agua. (foto N° 7).

Aporte de detritos a la red de drenaje:

Neto predominio y fuerte aporte de las fracciones arcilla-limo, sobre arenas.

B.3.- Nivel III de agradación pedemontana

Ocupando la parte mas deprimida del extremo del bolsón, se presenta el nivel III de agradación pedemontana (foto N° 8).

Naturaleza geológica:

Similar a nivel II (foto N° 9).

Morfología:

Nivel pedemontano fuertemente disectado sin conservación de formas primitivas. Red de drenaje muy densa de diseño dendrítico. Interfluvios estrechos con remates en crestas bien definidas, laderas inclinadas sin resaltos topográficos y alta densidad de valles en "V" por la fuerte disección fluvial. El nivel no evidencia afectación por procesos de neotectónica.

Unidades geológico-geomorfológicas. Areas por cuencas.

Nivel de agradación pedemontana III. Depósitos limos loésicos gruesos con tapada de fanglomerados. Holoceno.

Río Hondo: 9.23 km².

A° Piedra Larga: no esta presente

.....
Nivel de agradación pedemontana II. Depósitos limos-loésicos gruesos con intercalación de fanglomerados. Pleitoceno.

Río Hondo: 8.94 km².

A° Piedra Larga: 0.57 km²

.....
Nivel de agradación pedemontana I. Areniscas cubiertas de conglomerados polimícticos de matriz arenosa-limosa.

Río Hondo: 6.56 km².

A° Piedra Larga: no esta presente.

.....
Granito migmático de grano grueso con cubierta residual de cierta continuidad.

Río Hondo: 4.28 km².

A° Piedra Larga: 26.9 km².

.....
Valles fluviales. Aluviones recientes:

Río Hondo: 0.79 km².
A° Piedra Larga 1.54 km².

B.4.- Planos aluviales recientes

El fondo de los valles por los que corren los colectores principales de las cuencas del A° Piedra Larga y el Río Hondo, se presentan los rellenos aluvionales actuales con características distintivas según los casos.

B.4.1.- A° Piedras Largas.

Naturaleza geológica:

Escasa carga aluvional por fuerte competencia y capacidad de carga de los cursos. Bloques rodados de gran tamaño, gravas, arenas gruesas y finas en fondo del cauce y materiales limo-loésicos con intercalaciones de bloques rodados en terrazas (foto N° 10).

Morfología:

Fondo plano en Valles en "V" profundos y estrechos en material granítico con un único nivel de terraza fluvial y valles en "V" algo mas amplios en formaciones terciarias, con fondo plano interrumpido por intercalaciones de resaltos por erosión diferencial por afloramientos de andesitas y un solo nivel de terraza fluvial.

Procesos morfodinámicos:

Erosión de márgenes y en profundidad de bajo grado en respuesta al fuerte encajamiento y control de los cursos por efecto del fallamiento y resistencia del material de base.

B.4.2. – Valle fluvial Río Hondo.

Naturaleza geológica:

Fuerte carga aluvional de gravas arenas gruesas, medias y finas y bloques derivada de la erosión de los niveles de agradación pedemontana (foto N° 11).

Morfología:

El colector principal con diseño meandriforme incipiente corre en un valle en artesa de fondo plano con un único nivel de terraza fluvial inundable de formación reciente.

Procesos morfodinámicos:

El diseño meandriforme incipiente y el bajo grado de consolidación de las márgenes (nivel pedemontanos y aluviones recientes), rigen una tendencia a la ampliación del valle fluvial por erosión de márgenes en las partes externas de las curvas y deposición , en las internas.

5.3.- VEGETACIÓN NATURAL

La vegetación en las cuencas del río Hondo y Piedras largas se encuadra en la Región Fitogeográfica Neotropical, en lo que corresponde al Dominio Chaqueño y Provincia del Monte.

La vegetación predominante se componen de matorral o estepa arbustiva con elementos entre 1 a dos metros de altura de carácter xerófilo, que cohabita con monte abierto o muy abierto, en general circunscriptos a las quebradas o valles en "V".

Con aumento de la altitud los elementos arbustivos y arbóreos progresivamente son reemplazados por pastizales de baja densidad.

A partir de la interpretación visual de la imagen satelital y fotografías aéreas, mediante un enfoque de carácter fisonómico-estructural considerando árboles, arbustos y pastos, su distribución y grado de cubierta con respecto al suelo, se distinguen las siguientes unidades condicionadas por altitud y material geológico (Carta N° 4).

Unidades fisonómico-estructurales:

Unidad1.

Subunidad 1.1:

Fisonomía:

Arbustal dominante con monte muy abierto y pastizales de densidad media.

Altitud:

Desde los 1650 m.s.n.m., hasta los 1750 m.s.n.m. aproximadamente

Naturaleza geológica:

Nivel III de agradación pedemontana, sobre materiales limo-loésicos gruesos con intercalaciones y tapada fanglomerados y materiales aluvionales recientes de lechos de inundación y terrazas.

Subunidad 1.2:

Fisonomía:

Arbustal dominante con monte muy abierto y pastizales de densidad media.

Altitud:

Desde los 1500 m.s.n.m., hasta los 1750 m.s.n.m. aproximadamente, en la subcuenca Río Hondo y 1850 m.s.n.m, hasta 2250 m.s.n.m. en la subcuenca Río Piedras Largas.

Naturaleza geológica:

Materiales aluvionales recientes de lechos de inundación y terrazas.

Unidad 2

Fisonomía:

Pastizales abiertos dominantes y arbustal muy abierto.

Altitud:

Desde los 1750 m.s.n.m., hasta los 2000 m.s.n.m. aproximadamente.

Naturaleza geológica:

Niveles I y II de agradación pedemontana y vertiente occidental de la Sierra de Belén, con diferencias fisonómico-estructurales poco sustanciales. Se asienta sobre suelos loésicos en el primer caso y cubiertas discontinuas y someras sobre la roca granítica, en el segundo.

Unidad 3

Fisonomía:

Pastizales dominantes muy abiertos.

Altitud:

Desde los 1700 m.s.n.m., hasta los 3300 m.s.n.m.

Naturaleza geológica:

La cubierta condicionada en gran parte por la altitud, tiene desarrollo en la vertiente oriental del Cordón Los Colorados, sobre cubiertas residuales discontinuas en roca granítica.

Nota: para la delimitación de las unidades fisonómico-estructurales, se utilizó el concepto de áreas homogéneas, condicionadas en gran parte en el área de estudio por las particularidades litológicas y edáficas y si bien pueden existir diferencias no consideradas, estas no son sustanciales en lo referente al grado de protección hidrológica que brindan a los suelos, por las características fisiográficas que estas presentan.

5.4.- USO DEL SUELO

En ambas cuencas hidrográficas el uso del suelo, en función a que la capacidad varía entre: CLASE VI c, VIIc y VIII sc, según la clasificación del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, USDA), se encuentra restringida a pastoreo extensivo limitado.

6.- APLICACIÓN DEL MODELO: RESULTADOS

La aplicación de la técnica utilizada para la estimación de la producción de sedimento anual para las cuencas de los ríos Piedra Larga y Hondo arrojaron los siguientes resultados, considerando eventos normales:

Cuenca	W/Fc (m3/año/km2)	G/Fc (m3/año/km2)	Superficie (Fc, km2)
Río Piedras Largas	1910	420	33,5
Río Hondo (Cursos temporales)	2405	830	23,0

En el desarrollo del proyecto de la presa, se estudiaron los depósitos aluvionales del colector noreste y del occidental, como posibles yacimientos de áridos para hormigones y gravas para el cuerpo de la presa.

El estudio se hizo mediante la excavación de once calicatas hasta un poco aguas arriba del final del embalse y de 3,00 m de profundidad cada una.

En función de las granulometrías encontradas, se pueden diferenciar dos sectores: el primero es el que corresponde al colector del noreste en el que las granulometrías de estos depósitos no superan, en general, los tamaños de 4".

Como puede apreciarse en las curvas granulométricas correspondientes, los materiales encontrados son bien graduados y tienen menos del cinco por ciento del pasante del Tamiz 200. (Ver Anexo Curvas Granulométricas).

El otro sector, como ya se dijo, corresponde al colector occidental en el que se encuentran gravas y bloques de gran tamaño, redondeados, lo que indica una menor distancia de transporte.

En este colector se hizo un relevamiento manual de bloques y se reconoció el curso por más de dos kilómetros hacia aguas arriba para constatar la extensión del depósito aluvional.

La granulometría de este depósito puede verse en la curva correspondiente, la que representa las características del mismo. Puede decirse que los tamaños

menores a 2" están presentes en porcentajes menores al 10 % y los mayores a j40 " ocupan aproximadamente el 20 % del volumen de aluvión.

Los sectores estudiados son cursos temporarios de varios kilómetros de longitud y de anchos variables, no menores a 40 m.

Las rocas que constituyen los rodados y clastos en su gran mayoría están constituidas por granitos y en menor proporción por andesitas. Ambas rocas son de orígenes ígneos y muy resistentes.

7.- ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES FINOS EN LA CUENCA DEL ARROYO PIEDRA LARGA.

Partiendo de la base que la cuenca del A° Piedra Larga tiene desarrollo en el ámbito de las Sierras Pampeanas con características geológicas, geomorfológicas y morfoestructurales propias, es posible realizar una estimación comparativa de los porcentajes de los aportes de las fracciones finas (limo+arcilla), considerando embalses localizados en el mismo ámbito geológico, de los que se poseen datos. Estos embalses se ubican en las Sierras de Córdoba y San Luis.

En este caso las cuencas de los embalses, al igual que la del A° Piedra Larga, tienen desde el punto de vista geológico una fuerte predominancia de rocas cristalinas resistentes.

En el cuadro siguiente se expresan los porcentajes de las fracciones arena, limo y arcilla obtenidos mediante muestreos de materiales de fondo, en distintos embalses construidos en ambientes geológicos similares:

Embalse	Arenas	Limos	Arcillas	Tasa Anual (m3/año/km2)
San Roque	9	52,5	38,5	121,6
La Florida	10	70	20	434,8
Cruz de Piedra	8	74	18	942,53

Pirquitas	28,5	48	23,5	429,75
Valores Medios	13,9	61,1	25	

Cuadro N° 1

Del análisis del Cuadro N° 1 se desprende que el valor medio de las fracciones limo + arcilla es de 86.1 %.

Considerando los caudales líquidos totales anuales conocidos de la cuenca del A° Piedra Larga y la producción total anual de sedimentos calculadas por el método empírico de Grailovic, podemos inferir el volumen de sedimento aportado en la sección de la obra y por consiguiente el aporte de esta por derivación a la presa sobre el río Hondo.

Caudal líquido total anual (QLT) :

Modulo del Arroyo Piedra Larga (0.242 m³/seg.) multiplicado por el número de segundos anuales (31.536.000 seg.), arroja en siguiente resultado:

QLT : 7.631.712 m³. (7,63 Hm³)

Aporte de sólidos totales anuales (VST):

Multiplicando el valor obtenido empíricamente (420 m³/km²) por el área de la cuenca (33.5 km²) se obtiene:

VST: 14.070 m³. (0,014 Hm³)

Aporte de material fino (AMF):

De acuerdo a los resultados el porcentaje anual total del material fino (limo + arcilla = 86,1 %), multiplicado por el total de material (VTS), se obtiene:

$$AMF = 14.070 \times 0,861 = \mathbf{12.114,27 \text{ m}^3}.$$

Valor de la tasa mensual:

$$12.114,27 / 12 = \mathbf{1.009,52 \text{ m}^3}.$$

Considerando que el periodo de derivación de la obra es de diciembre a abril (cinco meses), el total de material finos aportado por derivación de caudales líquidos, sería:

$$1.009,52 \text{ (tasa mensual)} \times 5 = \mathbf{5047,61 \text{ m}^3}$$

En función del caudal de derivación de la cuenca establecido en estudios antecedentes ($Q_d = 2 \text{ m}^3/\text{seg.}$) y debido al régimen ya preestablecido de extracción de excedentes en los meses de mayores precipitaciones, se tomo la media del volumen total para el Q_d . Máximo:

$$\mathbf{VT = 3,2 \text{ hm}^3. \text{ (Volumen total liquido derivado)}}$$

De acuerdo a lo calculado en función de los datos del anteproyecto de obra por modelación el aporte total de la cuenca es de:

$$\mathbf{(QLT) = 7,6 \text{ hm}^3}.$$

Dados estos valores se estableció el siguiente coeficiente de derivación:

Coefficiente de derivación (Cd): **0,42** (42 %)

Estimación final (EF)

De acuerdo con el tiempo total de derivación (cinco meses), la tasa de producción media mensual de materiales finos (1.009,52 m³.) y el coeficiente de derivación (0.42), definen el volumen final de sedimentos según:

$$EF = 5 \text{ (meses)} \times 1.009,52 \text{ (m}^3\text{)} \times 0,42 = 2120,00 \text{ m}^3.$$

Media de aporte anual estimada de derivación de finos: 2120,00 m³

$$2120,00 \text{ m}^3 = 0,002 \text{ hm}^3$$

La obra de derivación en el A° Piedra Larga (azud con desripador y desarenador), está proyectada para que los sedimentos gruesos no pasen a la conducción. Por otro lado, la pendiente de ésta impone bajas velocidades al agua por lo que solo los limos y arcillas pasarían en suspensión hacia el vaso del embalse El Shincal.

8.- EFECTOS DE LA SEDIMENTACIÓN EN EL EMBALSE

Conforme a los resultados de los estudios de aportes sólidos al embalse de la Presa El Shincal, tanto del Río Hondo como del Piedra Larga, se efectúa a

continuación un análisis de los efectos que tendrá en la capacidad de embalse a lo largo de la vida útil del embalse.

De acuerdo a los resultados de los estudios de generación de sedimentos en la cuenca, se determina cual es el volumen total de sólidos aportado al embalse.

1. Aporte Sólido de la Cuenca del Río Hondo	
$G_{RH} =$	830 m ³ /año/Km ²
Sup de la Cuenca	23,0 Km ²
Volumen anual	19.090 m ³ /año
2. Aporte Sólido de la Cuenca del Piedra Larga	
$G_{PA} =$	420 m ³ /año/Km ²
Sup de la Cuenca	33,5 Km ²
Porcentaje aportado al Río Hondo	15%
Volumen anual	2.120 m ³ /año
3. Aporte Sólido Total Anual	
Volumen Anual	21.210 m ³ /año

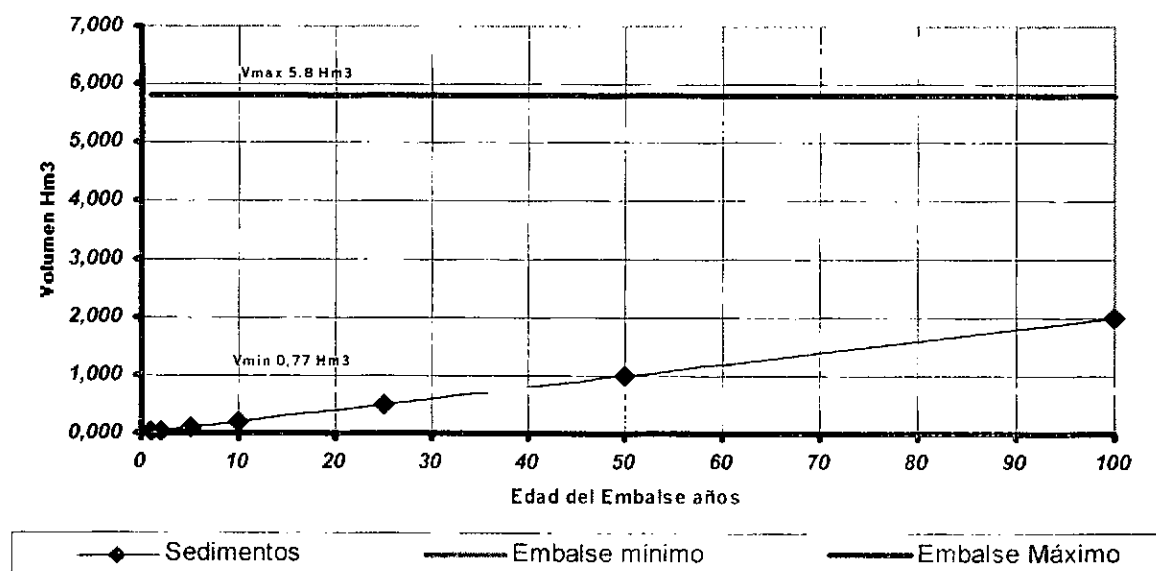
A los efectos de determinar de estos aportes al embalse cuales quedan retenidos en el embalse, se aplica el gráfico desarrollado por Brune para embalses pequeños. Este gráfico se presenta en el Handbook of Applied Hydraulics de Davis and Sorensen. Conforme a este gráfico se expresa la retención en el embalse como una función del coeficiente de embalse (relación entre el volumen útil y el derrame anual de la cuenca).

Aporte Anual Río Hondo y Piedra Larga (VA)	5,63 Hm ³
Embalse Máximo	5,80 Hm ³
Embalse mínimo	0,77 Hm ³
Embalse Util (VU)	5,03 Hm ³
Coeficiente de embalse (VU/VA)	0,89
Según el Gráfico de Brune se obtiene:	
Coeficiente de retención en embalse	0,95
Volumen Anual Retenido en el Embalse	20.149,5 m ³

Si se efectúa un pronóstico de lo que puede ocurrir a lo largo de la vida del embalse se obtienen los siguientes tabla y gráfico.

Edad del Embalse años	Volumen de Sedimentos Hm ³	Porcentaje del Embalse
1	0,020	0,3%
2	0,040	0,7%
5	0,101	1,7%
10	0,201	3,4%
25	0,503	8,6%
50	1,006	17,2%
100	2,012	34,4%

Sedimentación en el Embalse El Shincal



Como conclusión de los estudios de la sedimentación en el embalse, puede decirse que el efecto de la misma, puede considerarse de poca importancia, ya que a los 50 años la disminución de la capacidad de aquél es del 17%.

Como consecuencia de estos estudios y con respecto a medidas de control del aporte de sólidos, se considera que será de gran importancia incorporar en el Manual de Gestión Ambiental en la etapa de servicio del embalse, tareas de mediciones topográficas y batimétricas cada cinco años para evaluar la verdadera magnitud de los aportes de sedimentos y sobre esa base proyectar medidas de corrección, si se consideran necesarias.

9.- ANTEPROYECTO DE ESTRUCTURAS DE CONTROL

9.1.- TÉCNICAS DE CORRECCIÓN DE TORRENTES

Los principios que establecen el diseño y uso de técnicas destinados a la corrección de torrentes y la estabilización de cauces están dirigidos a la regulación y control, total o parcial, de los efectos que la dinámica de los caudales que circulan por los cauces produce en el contorno en forma de procesos de erosión, transporte y sedimentación de los materiales que lo forman, hecho que caracteriza el fenómeno torrencial. Toda la sistemática de la corrección está orientada a controlar esos procesos en el lecho y márgenes, evitando que se incorporen caudales sólidos a la corriente. Se trata de adoptar las medidas necesarias para que no lleguen a formarse esos caudales, o bien, si se han producido, para que queden reducidos al mínimo por depósito o sedimentación de los materiales.

El dinamismo torrencial de las aguas sobre los cauces aparece ligado a la tensión tractiva que ejercen sobre el contorno móvil del cauce que los limita.

La integración de estos procesos de erosión y transporte para el conjunto de caudales circulantes y secciones permite la evaluación y análisis de las circunstancias de torrencialidad de un curso de agua.

Toda actuación en la red hidrográfica o en la cuenca que origine una disminución de los parámetros que integran la tensión tractiva de las descargas, o

las que originen un incremento de la tensión crítica del contorno, darán lugar a una mejora o corrección de sus fenómenos torrenciales.

En el caso de cauces marcadamente torrenciales, en los que la tensión tractiva de las aguas de descarga supera habitualmente la capacidad de resistencia del contorno, definida por la tensión crítica de los materiales, y en los que el fenómeno aparece generalizado, con el descenso progresivo de los lechos, el transporte masivo de materiales en forma de acarrees, la erosión de márgenes y la desestabilización de los macizos adyacentes, el tipo de estructuras que ofrece la solución más simple y eficaz son las obras transversales al eje del torrente en forma de diques de consolidación. Estas estructuras de control vertical que cierran, a modo de represa, todo el perfil del cauce hasta la altura del vertedero, tienen los siguientes efectos:

- Establecen un punto fijo en el lecho del cauce, evitando su descenso progresivo.
- Mientras el vaso de embalse que originan se encuentra sin embancar, el efecto de presa hace que las aguas embalsadas frenen la velocidad de llegada de los sedimentos, se depositen los más gruesos y disminuya en su caudal de vertido la proporción sólida.
- Los depósitos que se producen van formando un aterramiento que eleva el cauce hasta alcanzar la pendiente de compensación, menor que la del cauce natural.
- La elevación del cauce, en el entorno que comprende el aterramiento, da lugar a que el nuevo lecho, elevado y asentado sobre los acarrees retenidos, tenga secciones de mayor anchura, que posibilitan la circulación de caudales por perfiles de amplia base, con disminución del radio hidráulico igual, sensiblemente, a la de la altura de las aguas.

Se consigue, por lo tanto, una reducción importante en la tensión tractiva de la descarga, por reducción del radio hidráulico y de la pendiente del cauce.

En cuanto a la acción de este tipo de obra sobre los taludes o laderas que conforman las márgenes del torrente, ha de tenerse en cuenta que la cuña que se forma por la sedimentación adosada a la obra ejerce una función consolidadora, ya sea porque tal cuña sirve de apoyo fijo, no erosionable, por debajo del plano del aterramiento estabilizado, ya sea porque el derrumbe propio de las laderas irá paralizándose al pie de las mismas, remontándose sobre ellas hasta alcanzar el nuevo plano del terraplén natural de equilibrio, con lo que se habrá sensiblemente anulado, en el intervalo de influencia, la aportación lateral más directa de sólidos al cauce.

El control torrencial que se consigue con estas obras transversales reside, fundamentalmente, en que el aterramiento a que dan lugar al retener los acarreos que transporta la corriente se produce con una pendiente menor que la del cauce y una sección más amplia. Estas definen una tensión tractiva de las aguas de descarga, que aparece compensada en sus efectos erosivos con la tensión resistente de los materiales que transporta la corriente e integran el contorno del cauce; por ello la denominación de pendiente de compensación que se da a la de estos aterramientos.

En efecto, si una corriente saturada pasa sobre un lecho erosionable que haga posible el intercambio de materiales, el caudal sólido de la corriente se sustituirá por otro que le sea equivalente. Pero esta equivalencia no se refiere al volumen, sino a la capacidad del arrastre, y si los volúmenes depositados no son iguales a los incorporados, lo cual sucederá cuando los acarreos del lecho no tengan igual naturaleza y composición granulométrica que los de la corriente, se llegará a una pendiente de equilibrio que será función de la característica tractiva de la corriente. Forzosamente, la pendiente variará hasta que la igualdad requerida se logre, existiendo en ese momento equivalencia en fuerza de arrastre y en volumen, siendo iguales los volúmenes arrastrados y los depositados por la corriente, alcanzando el lecho entonces su pendiente de compensación.

9.2.- ESTABILIZACIÓN DE CAUCES TORRENCIALES

Las obras transversales destinadas a la corrección de un cauce torrencial son los diques de consolidación y los diques de retención, según la función específica para la que estén diseñadas.

Los diques de consolidación tienen por objetivo evitar los fenómenos directos de erosión en los cauces y en las laderas marginales afectadas de inestabilidad por esta acción erosiva. Con estas obras transversales se persigue la fijación del perfil longitudinal del lecho del torrente, evitando su descenso erosivo, lo que se logra por la agradación del cauce con diques consecutivos que dotan al torrente de la pendiente, no erosionable, de los aterramientos, en forma de escalones cuyas huellas son estos aterramientos y las contrahuellas los diques.

De esta manera se cubren ininterrumpidamente con la pendiente de compensación, desde la coronación de un dique hasta el pie del de aguas arriba, todas las zonas del cauce que presentan mas acusadamente fenómenos de erosión lineal, frenándose también la inestabilidad de las laderas marginales mediante la cuña de tierras que forman estos aterramientos sobre el nivel del lecho.

La altura de los diques que forman este escalonamiento puede ser variable (para cada uno de ellos) estando únicamente ubicados y dimensionados de tal manera que se forma un escalonamiento continuo de aterramientos, salvo en los casos en que el lecho, por causas naturales (un afloramiento rocoso, por ejemplo), no presente un peligro de erosión retrógrada.

Esto exige el cálculo de las pendientes de compensación previsible en los aterramientos, con un caudal de avenida de recurrencia media al que se deben la magnitud y circunstancias actuales de los fenómenos de erosión y depósito y de los que depende la forma general del lecho, que suele denominarse caudal generador. De esta forma puede diseñarse convenientemente este escalona-

miento sin exceso ni defecto de obra, y con gran libertad para elegir emplazamientos y alturas que permitan aprovechar al máximo las características topográficas y de retención de sedimentos. No obstante, hay casos en que se presentan limitaciones para la altura particular de un dique, que son las propias de la cerrada, que establecen una dimensión máxima o mínima. Puede imponerse una limitación en la altura máxima de un dique en el caso de que puedan interferir con alguna obra o explotación. Por otro lado, se necesita una dimensión mínima cuando se trata de contener un deslizamiento, para lo cual el aterramiento debe alcanzar una altura suficiente para contener los materiales en la base del deslizamiento.

Ahora bien, si se suponen construidos estos diques primarios formando un perfil de compensación, a medida que avancen los trabajos de forestación de la cuenca y las obras de corrección en los cauces, la granulometría y la aportación de los materiales será menor, lo que disminuirá el valor de los parámetros que influyen en el cálculo. En consecuencia, la pendiente de compensación se hace menor, lo que obliga, para evitar nuevas erosiones en el lecho, a establecer una serie de diques secundarios cuyo aterramiento tendrá la nueva pendiente de compensación.

Los diques de retención se destinan exclusivamente a detener los materiales sólidos y en algunos casos a laminar la punta de los caudales líquidos de avenida. Son trabajos complementarios, necesarios cuando se quieren evitar rápidamente los daños que pueden ocasionar los acarrees y caudales líquidos en zonas dominadas por el torrente. Se emplazan aguas arriba de la zona en que se producen los daños, normalmente en la garganta del torrente, aprovechando la existencia de cerradas y de ensanchamientos que permitan una buena acumulación de materiales sólidos. Suelen proyectarse estos diques como cierre de la garganta del torrente, y con mayores dimensiones que los de consolidación, dependiendo de la exigencia de retención de materiales previsible hasta que las otras obras de corrección estén terminadas.

Para estas obras transversales, tanto de consolidación como de retención,

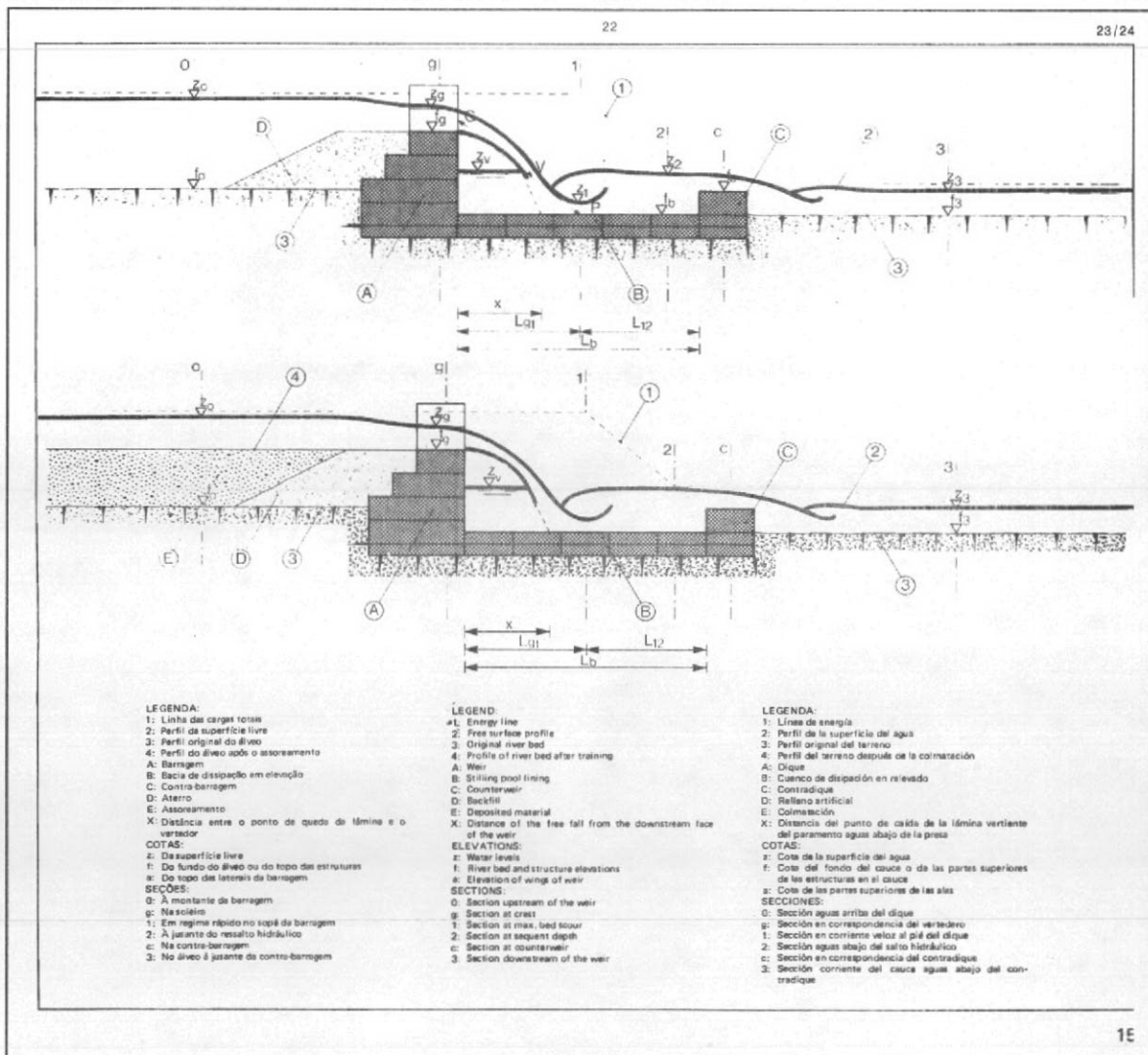
pueden utilizarse todo tipo de estructuras y materiales propios del diseño de presas pequeñas, sin que pueda establecerse ninguna regla fija, pues el buen juicio del ingeniero determinará en cada caso el tipo y materiales más convenientes y económicos. En el caso del proyecto El Shincal, se considera que la estructura idónea para estas obras es la de gaviones.

Por esta razón, las estructuras que se recomiendan para este tipo de obras no necesitan ser de elevada resistencia, y los materiales que se empleen en su ejecución pueden ser de calidad económica; su diseño del tipo de gravedad y planta recta; construidas con hormigón en masa o ciclópeo, de mampostería o gaviones; con un vertedero de labio fijo en forma de cubeta diseñada para evacuar caudales que se repiten cada 20 a 100 años, según la importancia de la obra, que centra el vertido, normalmente en caída libre, sobre el cauce de aguas abajo, alejándolo de las laderas y de cuyo impacto se protege el lecho, en los diques de cierta envergadura, mediante la construcción de un dissipador de energía o mediante simple zampeado. Para la ejecución de estas obras se puede emplear personal escasamente calificado.

Con objeto de aliviar subpresiones en la estructura y evitar un efecto prolongado de embalse de agua que puede llegar a afectar desfavorablemente la estabilidad de las laderas marginales, es normal disponer, atravesando el cuerpo de los diques, barbacanas, pequeñas aberturas, distintas de las troneras utilizadas en los diques de retención selectiva. Los cálculos de estabilidad y resistencia para el dimensionado de estos diques son análogos a los que se necesitan para las obras hidráulicas del tipo que se haya adoptado, si bien conviene establecer una clara diferenciación en cuanto al conjunto y evaluación de las cargas que se han de considerar en los cálculos, pues no son las mismas en uno y otro caso, ya que también es diferente la función que desempeñan.

Como obras típicas de corrección torrencial pueden mencionarse las que se practican en los lechos de deyección y abanicos diluviales, cuyo objeto es concentrar las aguas en un cauce fijo y estable, lo que se consigue con su encauzamiento mediante muros longitudinales; y dotando a lecho de una solera

resistente a la erosión de los caudales de descarga. Esta concentración de caudales invierte el proceso natural de esta zona, convirtiéndola en terreno de posibles erosiones de cauce. Esto también puede conseguirse mediante un escalonado, formado por pequeños diques transversales, llamados rastrillos, que configuran el cauce entre muros longitudinales bajo un esquema análogo al de los cauces corregidos con el uso de diques de contención.



Cuenca amortiguador de energía al pie del mismo. Tiene unos 3,00 m de altura y corresponde a una presa de consolidación.

También, para controlar los daños que origina la presencia de fenómenos

torrenciales en los cauces, pueden utilizarse las obras que, genéricamente y atendiendo a su posición con relación al cauce, se denominan longitudinales (ya sean muros laterales para defensa de costas o espigones que actúan como deflectores de la corriente, dirigiéndola al centro del cauce).

En general y, en cuanto al objetivo básico de eliminar el transporte sólido y sus secuelas, las obras longitudinales limitan su función a evitar la erosión y las inundaciones en las márgenes del cauce. La proyección, pues, de las estructuras longitudinales es más bien de defensa y salvaguarda pasiva frente al proceso torrencial, mientras que la obra transversal incide activa y decisivamente en el propio proceso. Tanto en su diseño como en su funcionalidad, estas obras son análogas a las utilizadas en los cursos de agua de régimen fluvial sin que su uso en cauces torrenciales modifique sustancialmente sus características, salvo en las consideraciones derivadas de la mayor violencia y energía de la dinámica de su corriente, la marcada tendencia a fenómenos de erosión retrógrada del cauce y la presencia de caudales sólidos con las intensidades que son propias de los torrentes. Son válidos, en general, para su uso en cauces torrenciales, los tipos, cálculos, diseños y especificaciones de esa clase de obras utilizados en la arquitectura hidráulica fluvial, considerando su compacidad y robustez que se derivan de las características indicadas.

Revisten en ese sentido particular importancia los fenómenos de erosión retrógrada del lecho del cauce, que obligan a prevenir muy especialmente los efectos perjudiciales que el descenso sistemático o súbito del lecho puede producir en la estabilidad de esas obras y sus cimentaciones. Por eso resulta conveniente, siempre que se actúe en cauces torrenciales, dotar a las obras longitudinales que se construyan de elementos de defensa frente al riesgo de que las aguas socaven sus cimientos.

10.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si bien los datos utilizados en el modelo aplicado no provienen de mediciones directas de caudales sólidos, debido a la imposibilidad de realizarlas por el alto grado de torrencialidad que presentan las cuencas estudiadas, los resultados obtenidos con la aplicación del modelo propuesto, indican:

- Los sedimentos producidos por procesos de cierta continuidad temporal asociada a eventos hidrológicos ordinarios en las cuencas del A° Piedra Larga y el Río Hondo, están asociados a erosión por salpicadura por el impacto de las gotas de lluvia y la acción del escurrimiento superficial de forma mantiforme, difusa y concentrada. Por su parte los sedimentos producidos por procesos de remoción en masa que incluyen caídas, deslizamientos y flujos, se vinculan a eventos hidrológicos extremos, no considerados en el estudio.
- No todo el material producido por erosión es conducido a través de los cauces: el volumen del material que es transportado por estos es usualmente menor al producido desde la cuenca, en sitios donde la escorrentía es insuficiente para sostener el transporte.
- La importancia que adquieren estos procesos, se relaciona fundamentalmente con las condiciones geológicas y geomorfológicas de las cuencas, adquiriendo mayor relevancia en los niveles de agradación pedemontana I, II y III, por el carácter friable del material geológico y suelos, con respecto a las áreas en donde se presenta el basamento cristalino de carácter granítico.
- La distribución de estas formaciones geológicas indica que en la cuenca del Río Hondo, la erosión por salpicadura y la acción erosiva del escurrimiento superficial de acuerdo a los valores de **G** obtenidos, duplican a los del A° Piedra Larga (830 m³/año y 420 m³/año. respectivamente)

- No obstante es importante tener en cuenta que ante la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos de corta duración, inciden más en el porcentaje anual de sedimentos las cuencas de menores superficies, como las consideradas en el estudio (Wilman y Miller 1960).
- Ante la probable ocurrencia de tales eventos, la cuenca del río Hondo por su naturaleza geológica y los procesos de remoción en masa detectados, en forma de deslizamientos de tierra y desplomes por erosión de márgenes, daría lugar a significativos aportes de sedimentos, pero es de considerar también que estos eventos extraordinarios son tales y los aportes a considerar será la diferencia con los normales y de baja ocurrencia.
- Es por ello que en etapas posteriores se deberían realizar mediciones para la estimación del material producido por estos procesos, considerando variables morfológicas e hidrológicas tales como: transmisibilidad del suelo saturado, lluvias extremas, ángulo de fricción del suelo, área de aporte línea de escurrimiento, etc. de los que en la actualidad no se tienen datos y que permitirían la aplicación de modelos específicos (Dietric et. Al. 1986 o Montgomery y Dietric. 1994).
- Por estas razones, se recomienda la inclusión en el Manual de Gestión Ambiental para la etapa de servicio de la obra, de tareas de topografía y batimetría cada cinco años para evaluar la verdadera magnitud de los aportes de sólidos y sobre esa base considerar la adopción de medidas de corrección que se consideren necesarias. Estas tareas se verán facilitadas por el periodo en el que el embalse se encuentra a niveles mínimos.
- Por último debe considerarse que si bien existe una cierta alteración del medio por la acción antrópica, esta no es significativa. Los procesos dinámicos responsables del aporte de detritos, se encuadran dentro del umbral de la erosión geológica normal condicionada por la naturaleza geológica, la energía del relieve, la vegetación natural xerófila de bajo grado de protección y las condiciones climáticas de aridez.

11.- BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BARBEITO, O; A. SANTA y S. AMBROSINO. 1997. "Relación del factor geológico en la tasa de sedimentación de embalses. Sierras de Córdoba y San Luis". 7th International Conference On Lakes Conservation and Management. San Martín de Los Andes. Argentina.

CABRERA, Angel. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. Vol. XIV N 1-2. Buenos Aires.

COLMAN M Y J. MILLAR (1960) Magnitude an frecuency of forces in geomorphic processes. Journal of Geomology, Vol.78

DIETRIC, W, et.al. 1986. Hollows coluvion and landslide in soil-manted landscapes , in Hillslope processes: London

GAVRILOVIC, S.1988. The use of an empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. England

GONZALES BONORINO, F., 1972. Descripción de la Hoja Geológica 13c Fiambalá. Pcia. de Catamarca. Dirección Nacional de Geología y Minería

HOJA GEOLOGICA 2769-IV Fiambalá 2001. Escala 1:25.000. Provincias de La Rioja y Catamarca. Programa Nacional de Cartas Geológicas.

MONTGOMERY, Y DIETRIC, W., 1994 A physically based model for the topographic control on shallow landsliding Water Resources Research 30, 1177-1191.

VICH, A. 1999. "Aguas Continentales. Manual de Aplicaciones Prácticas" Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

ANEXOS

A- FOTOGRAFIAS



Foto N° 1. Roca granítica diaclasada en cercanía del sitio de cierre, Sierra de Belén.



Foto N° 2. Desprendimientos de gravedad en granito en el sitio de cierre.



Foto N° 3. Nivel I de agradación pedemontana (rodados de la Puna),
sobrepuesto sobre materiales Terciarios. Valle A° Piedra Larga



Foto N° 4. Nivel II de agradación pedemontana.

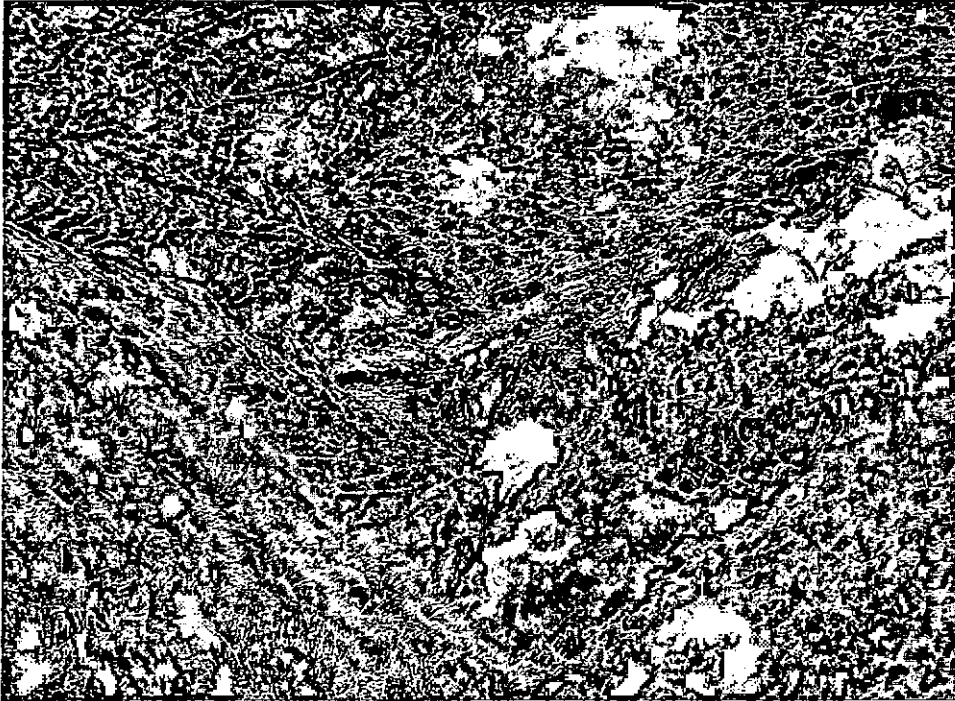


Foto N° 5. Reptación en mantos generalizada en nivel II de agradación pedemontana.

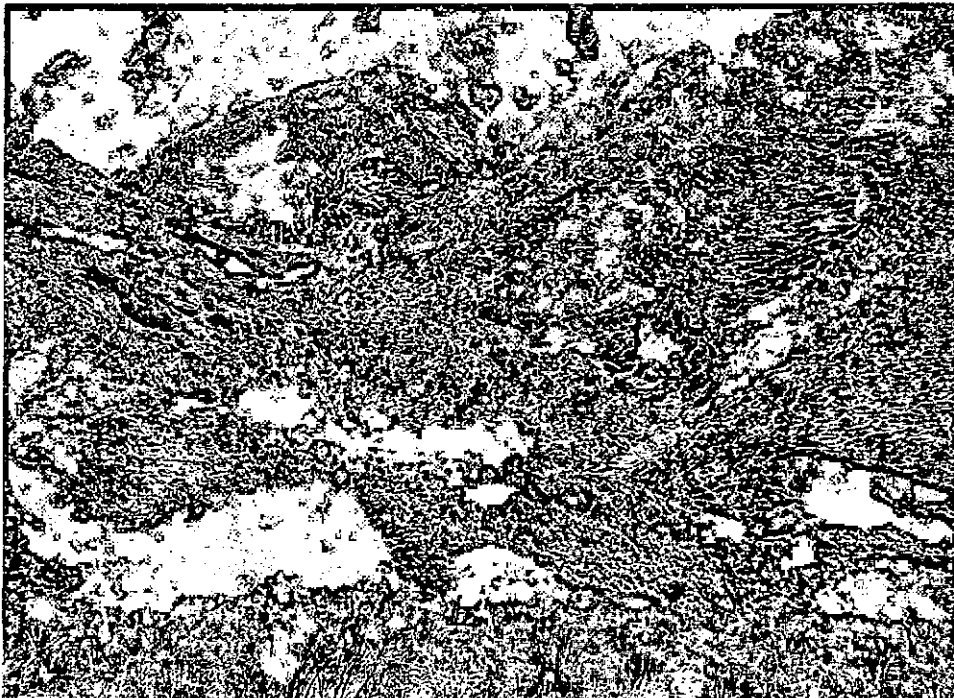


Foto N° 6. Cicatrices de deslizamientos de tierra y reptación en mantos generalizada en nivel II de agradación pedemontana.



Foto N° 7. Desplomes por acción hidráulica en Río Hondo sobre Nivel I de agradación pedemontana.



Foto N° 8. Vista general del nivel I de agradación pedemontana.

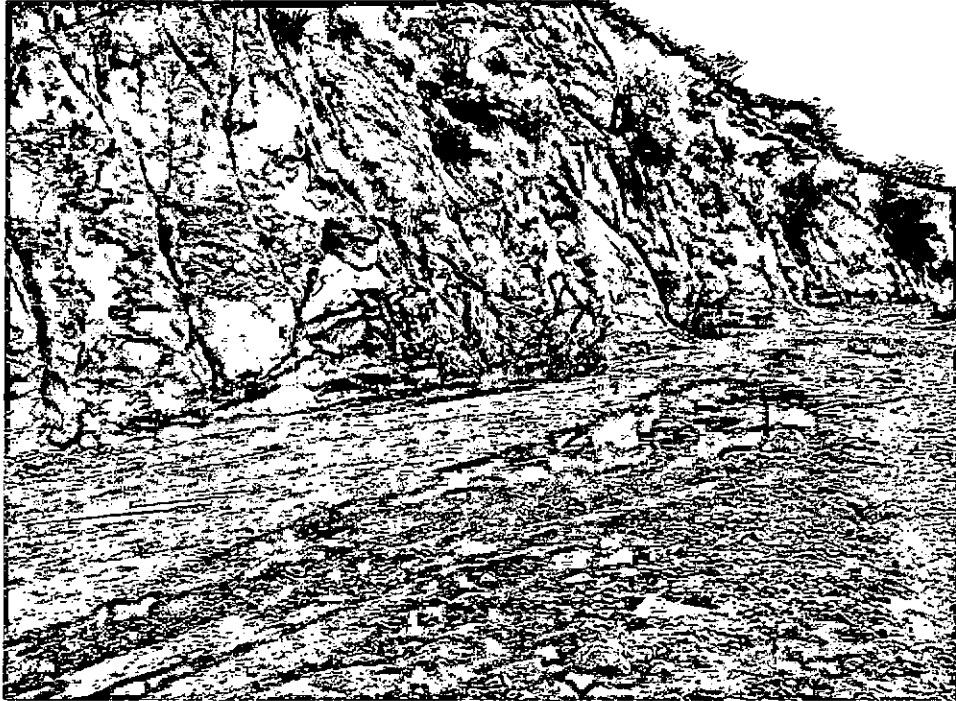


Foto N° 9 Nivel I de agradación pedemontana. Margen del Río Hondo.

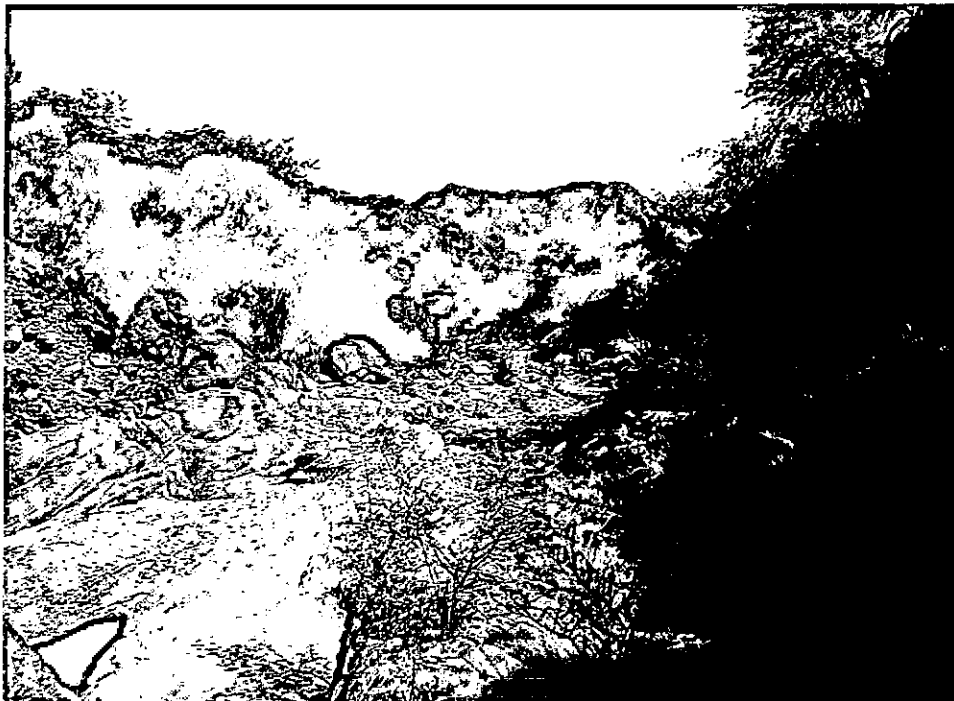


Foto N° 10. Plano aluvial y nivel de terraza A° Piedra Larga.
Valle estructural.

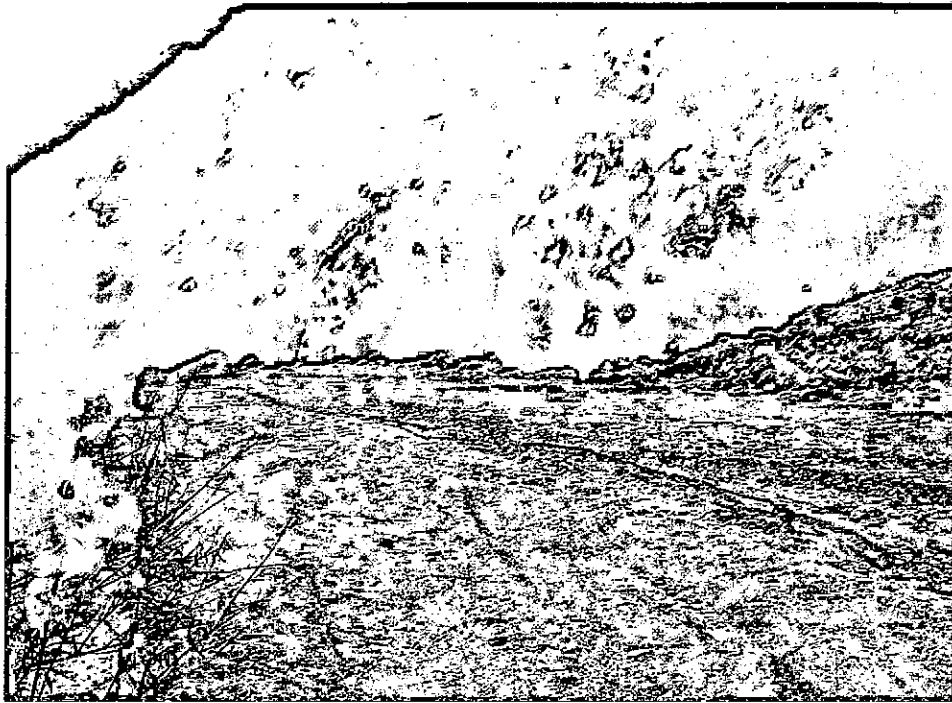


Foto N° 11. Plano aluvial Río Hondo y Nivel I de agradación pedemontana.

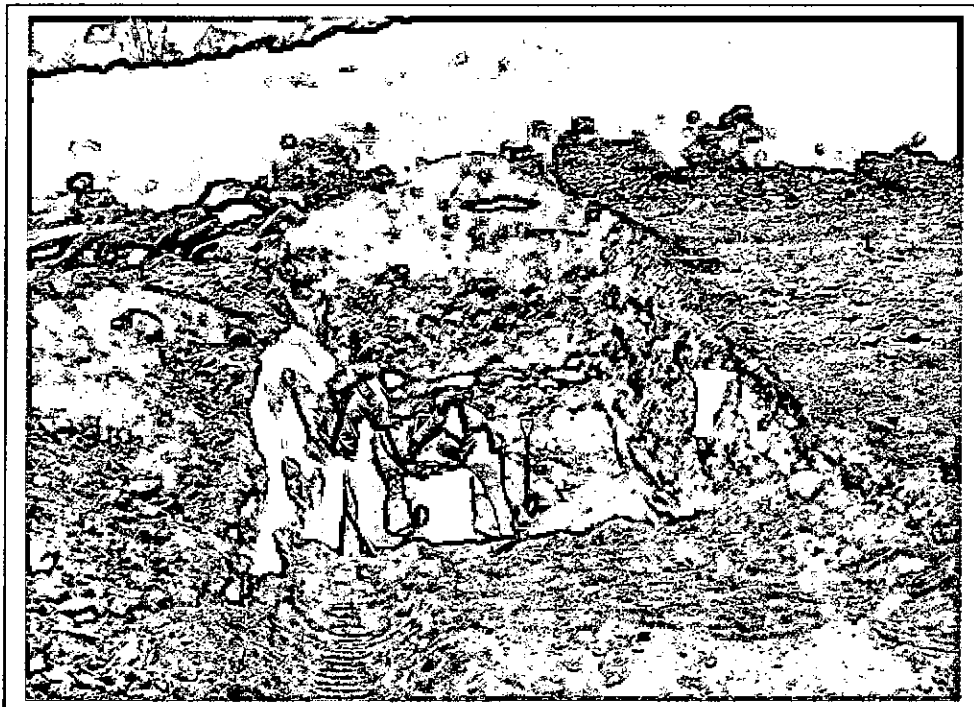
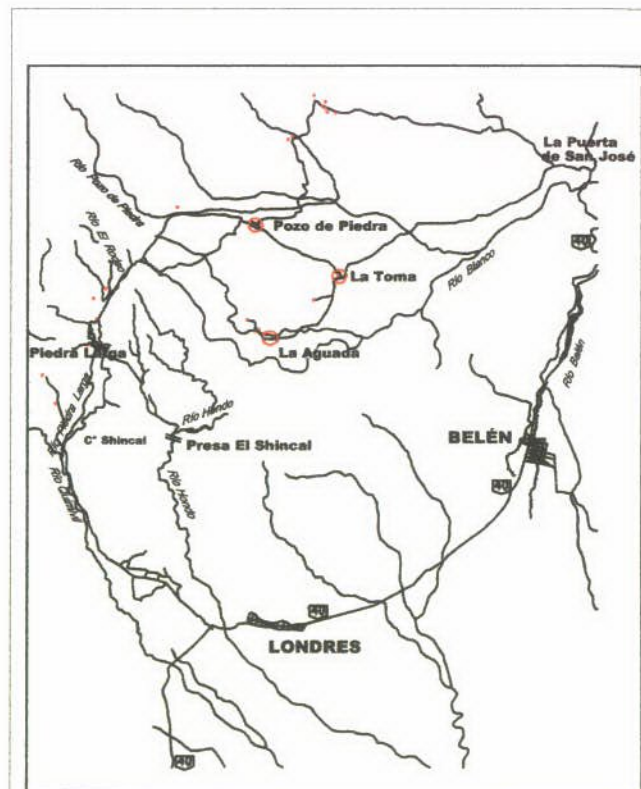
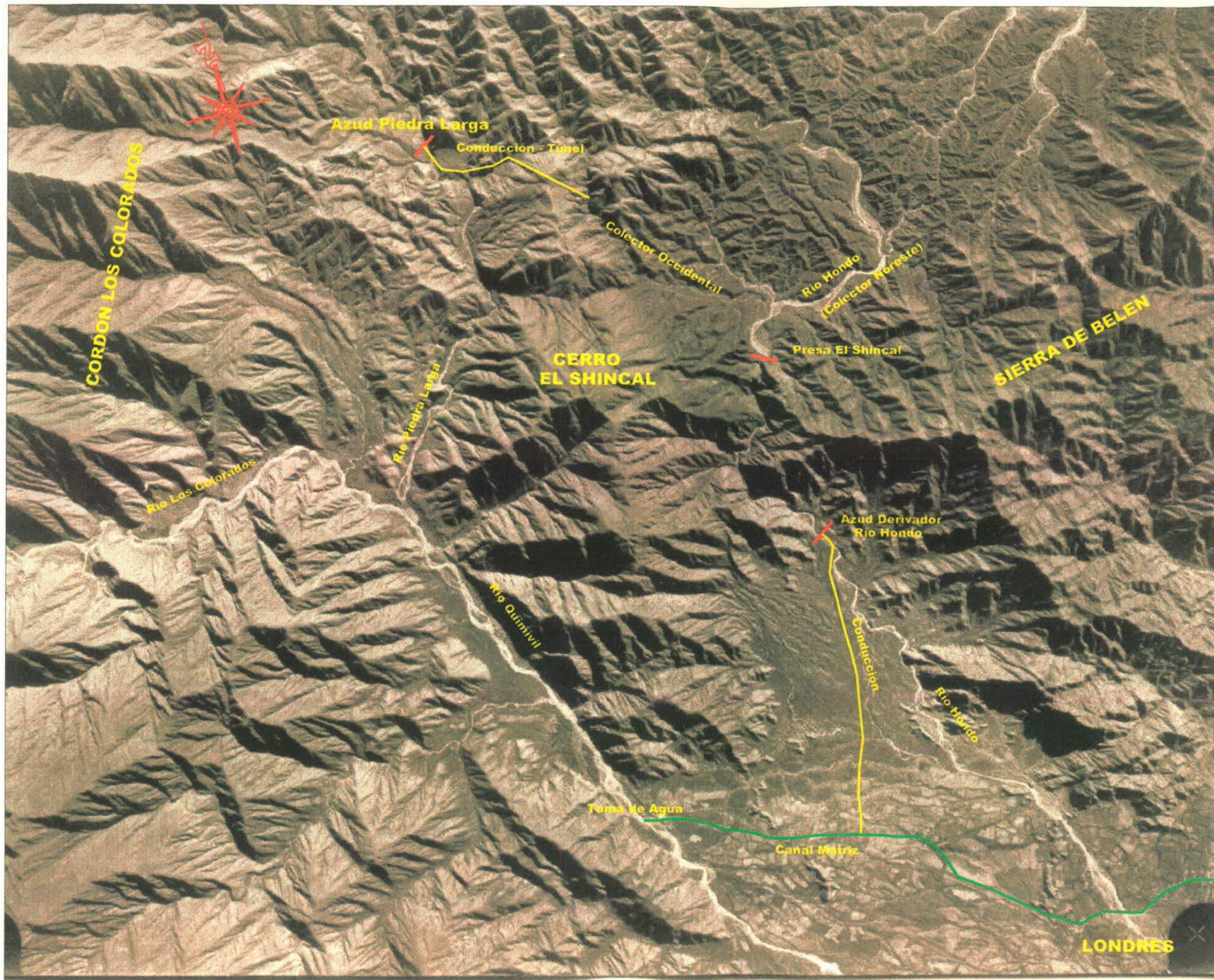


Foto N° 12. Calicata de exploración de aluviones en el Colector Noreste

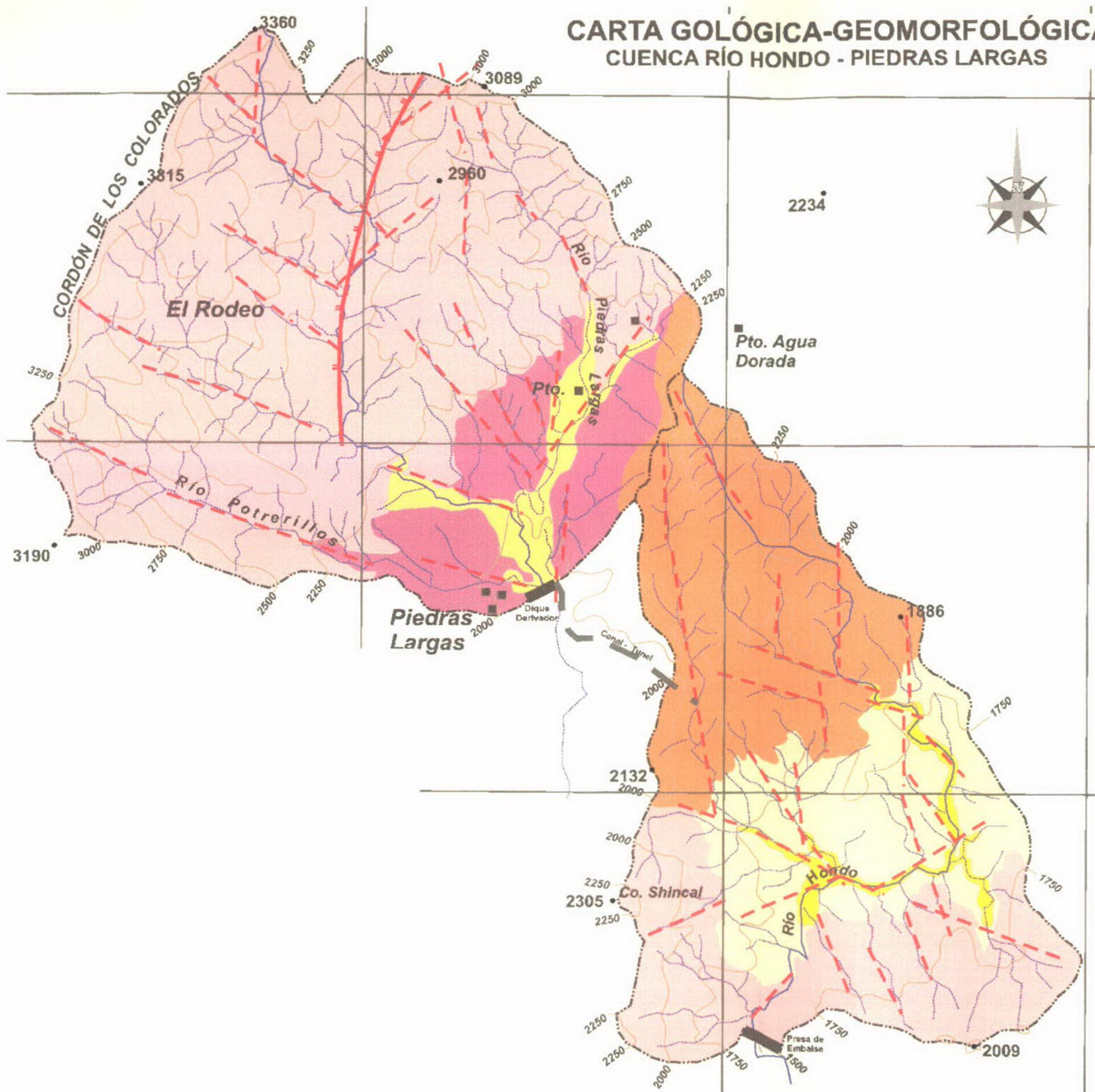
B- PLANOS



ESTUDIO ROBERTO NORES
 INSTITUCION: INIA
 DIRECCION: DIRECCION DE PLANIFICACION DE RECURSOS HIDRICOS
 FECHA: ABRIL 2005

GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE CATAMARCA			
SECRETARIA DEL AGUA Y DEL AMBIENTE			
SUBSECRETARIA DE PLANIFICACION DE RECURSOS HIDRICOS			
DIRECCION DE PLANIFICACION DE USO DE RECURSOS HIDRICOS			
OBRA:		PLANO:	
Aprovechamiento de los Rios Hondo y Piedra Larga		PLANO DE UBICACION GENERAL	
ESTUDIO:	R. NORES - J.MALECKI	DIBUJO:	J. ARANGUREN
PROYECTO:	R. NORES	ESCALA:	
FECHA:	ABR 2005		

CARTA GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA CUENCA RÍO HONDO - PIEDRAS LARGAS



CARTA GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA CUENCA RÍO HONDO - PIEDRAS LARGAS

- Referencias
- A) Relieve de Montaña fuerte.
- A1. - Vertiente oriental tendida del Cordon Los Colorados.
Litología: granito magmático de grano grueso o porfiro.
Ecuatorial.
 - A2. - Vertiente occidental abrupta de la Sierra de Belén.
Litología: granito magmático de grano grueso o porfiro.
Ecuatorial.
- B) Relieve de bolsón.
- B1. - Valle estructural del A° Piedras Largas.
Litología: areniscas tobáceas y finas, rocas ígneas
andesíticas (porfiro), con cuarcita residual de conglomerado
primarios de matriz arenolimonosa.
Nivel I de aggradación pedemontana.
 - B2. - Nivel II de aggradación pedemontana.
Litología: pectinas de depósitos limo-lobesivos gruesos con
estructuras tipo lapilli de lavas empujadas. H. C. S. S. S. S.
 - B3. - Nivel III de aggradación pedemontana.
Litología: pectinas de depósitos limo-lobesivos gruesos con
estructuras tipo lapilli de lavas empujadas. H. C. S. S. S. S.
 - B4. - Aluviones recientes.
Litología: bloques, rodadas, grava, arena gruesa y fina.
Holoceno.
- B41. - Valle fluvial del Río Piedras Largas.
 - B42. - Valle fluvial del Río Hondo.
- Estructura
- Fallas con indicación de alcance funcional
 - Fallas probables
- Drenaje
- Cursos de agua temporales
 - Cursos de agua permanentes



PROVINCIA DE CATAMARCA	
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES	
EVALUACION DE ARRASTRES DE SEDIMENTOS A LA PRESA "EL SHINCAL"	
CARTA GEOLOGICA	EXPERTO: GEOL. OSVALDO L. BARBEITO
INDICADAS	REV: FECHA: NOV. 2005

CARTA DE VEGETACIÓN

CUENCA RÍO HONDO - PIEDRAS LARGAS

CARTA DE VEGETACIÓN. (FISONÓMICA-ESTRUCTURAL) CUENCA RÍO HONDO - PIEDRAS LARGAS

Referencias

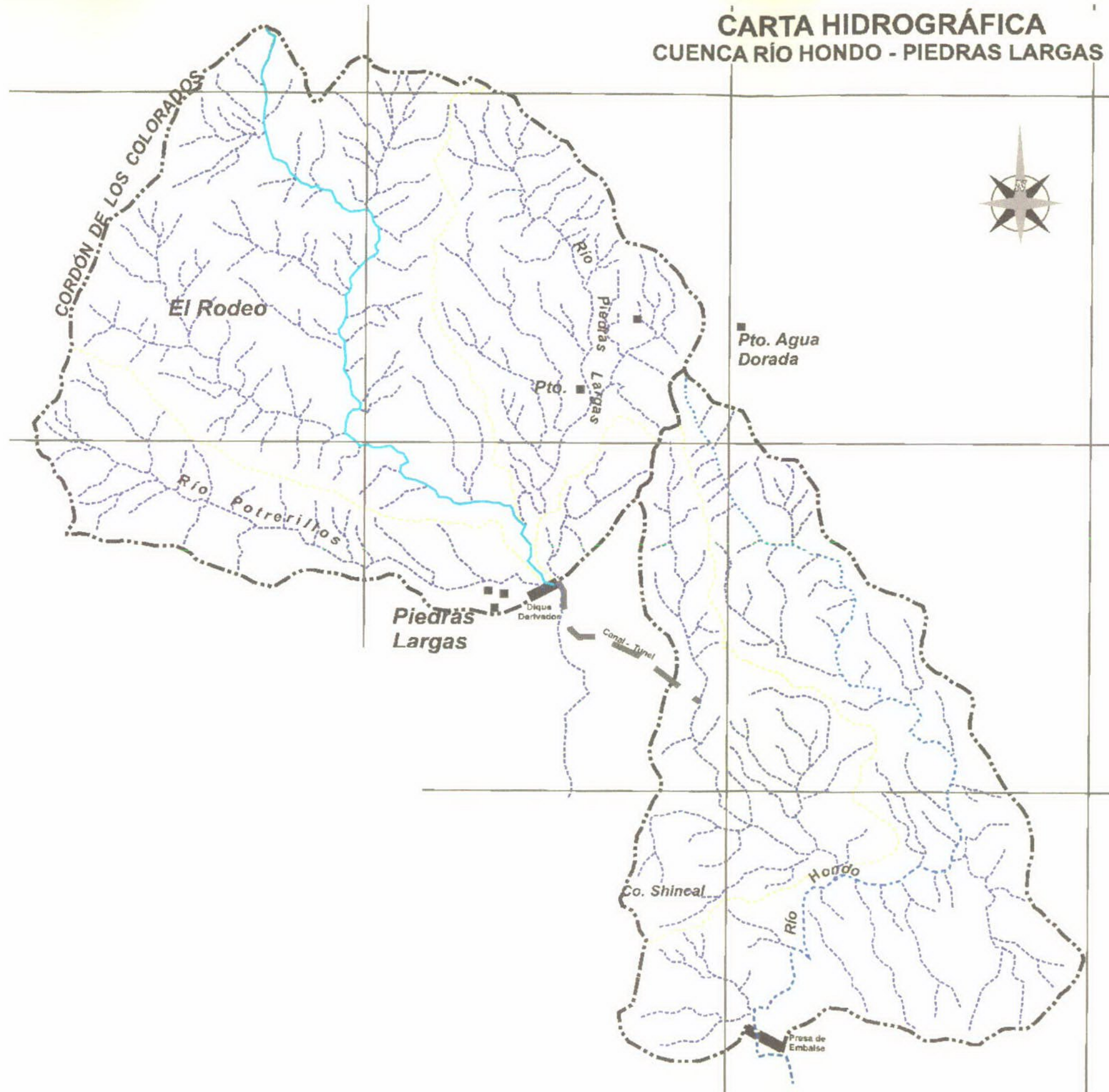
- Unidad 1**
Arbustal dominante con monte abierto y pastizal densidad media.
- Subunidad 1.1** : desde 1650 m s.n.m. hasta los 1750 m s.n.m. Nivel III de agradación, sobre material limo-loésico grueso
 - Subunidad 1.2** : desde 1500 m s.n.m. hasta los 1750 m s.n.m. en la Cuenca Río Hondo, y entre 1850 m s.n.m hasta 2250 m s.n.m. en la cuenca del Río Piedras Largas. Sobre material aluvional reciente de lecho de inundación y terrazas.
- Unidad 2**
Pastizal abierto dominante y arbustal muy abierto
- Desde los 1750 m s.n.m. hasta los 2000 m s.n.m. En Niveles de agradación I y II sobre suelo loésicos someros. En la vertiente occidental de la Sierra de Belém sobre cubiertas someras en granito.
- Unidad 3**
Pastizal dominante muy abierto.
- Desde los 1700 m s.n.m. hasta los 3300 m s.n.m. En la vertiente oriental del Cordon Los colorados, condicionada en gran medida por la altura. Sobre cubiertas residuales discontinuas en granito.



PROVINCIA DE CATAMARCA	
CFI CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES	
EVALUACION DE ARRASTRES DE SEDIMENTOS A LA PRESA "EL SHINCAL"	
CARTA VEGETACION	EXPERTO: GEOL. OSVALDO L. BARBEITO
INDICADAS	REV: FECHA: NOV. 2005



CARTA HIDROGRÁFICA CUENCA RÍO HONDO - PIEDRAS LARGAS



CARTA HIDROGRÁFICA CUENCA RÍO HONDO - PIEDRAS LARGAS

Referencias

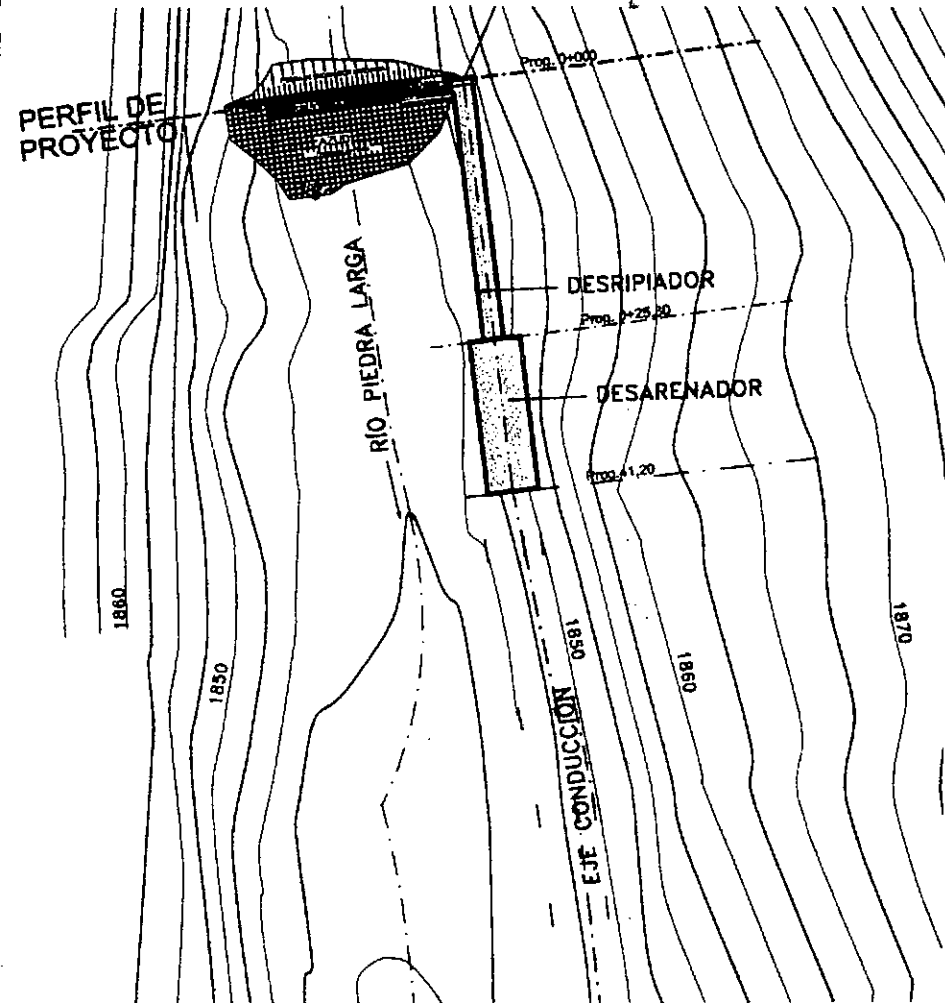
- Cursos de agua temporaria
- Cursos de agua permanente
- Divisora principal de Aguas
- Divisora secundarias de Aguas
- Paraje, Caserío, Puesto
- Sitios de cierres previstos
- Canal derivador



Escala Gráfica

PROVINCIA DE CATAMARCA	
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES	
EVALUACION DE ARRASTRES DE SEDIMENTOS A LA PRESA "EL SHINCAL"	
CARTA HIDROGRAFICA	EXPERTO: GEOL. OSVALDO L. BARBEITO
INDICADAS	REV: FECHA: NOV. 2005

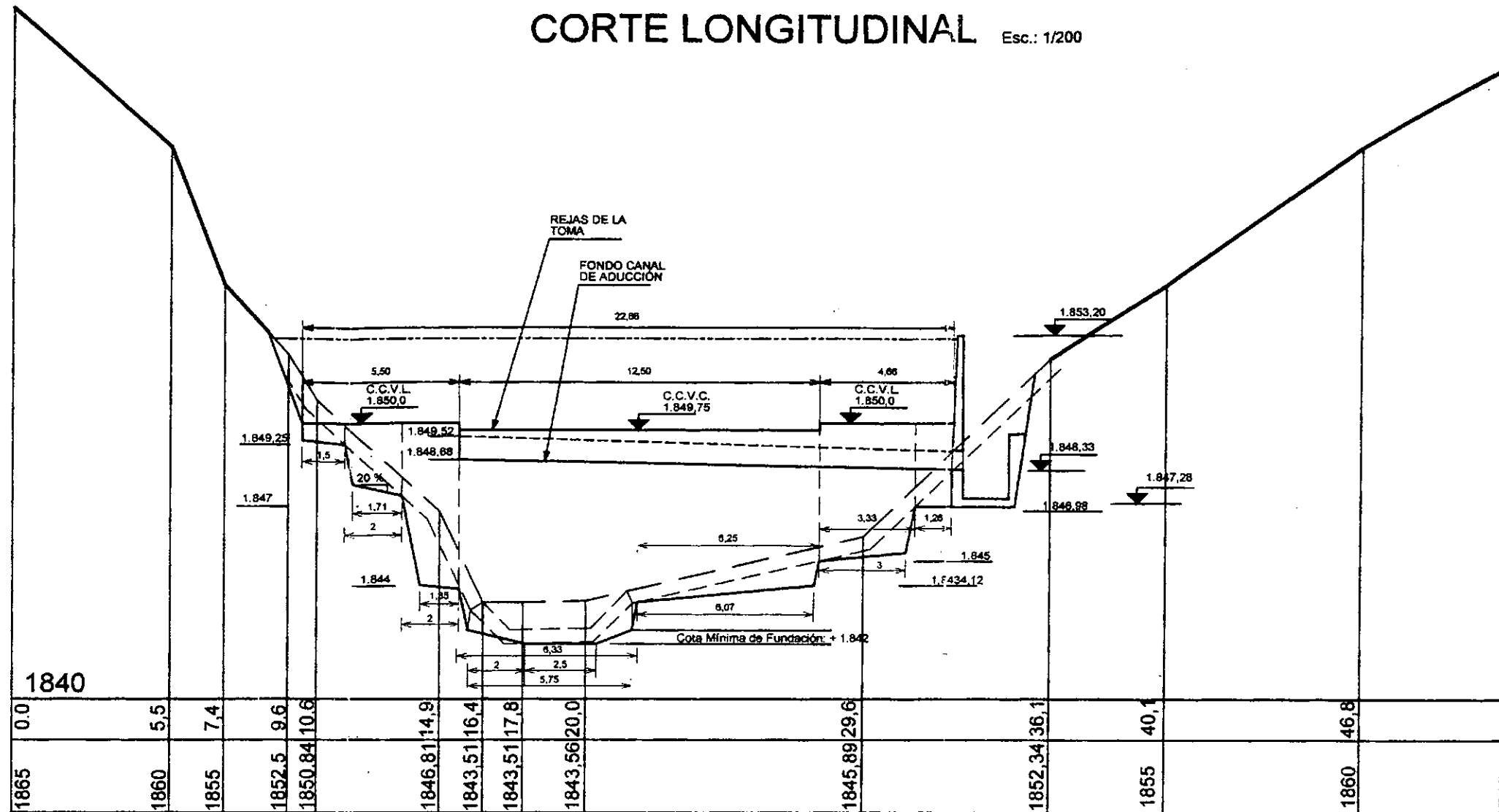
UBICACIÓN GENERAL Esc.: 1/750



PLANTA Esc.: 1/125



CORTE LONGITUDINAL Esc.: 1/200



NOTA:
 SALVO INDICACION EN CONTRARIO, LAS EXCAVACIONES CON TALUD SUB-HORIZONTAL TIENEN UN PENDIENTE DEL 10 % Y LAS LOS TALUDES SUB-VERTICALES UNA PENDIENTE DE 5 VERTICAL : 1 HORIZONTAL

<i>Juan C. Acuña</i> INGENIERO CIVIL		CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES-PROVINCIA DE CATAMARCA DERIVACIÓN DEL RÍO PIEDRA LARGA AL EMBALSE EL SHINCAL		
Ingeniería de Diseño		ANTEPROYECTO DEFINITIVO		
PROYECTO GENERAL Ing. Juan C. Acuña		AZUD DERIVADOR PLANTA Y CORTE LONGITUDINAL		
PROYECTO PARCIAL Ing. J. D. Cremona Parma Ing. Eida N. Scaglione Ing. Juan Pablo Acuña				
DIBUJO Ing. J. D. Cremona Parma T.C.N. Ariel O. Campagnolo	ANTECEDENTES	FECHA DE ELABORACION DICIEMBRE 2003	ESCALA INDICADAS	PLANO N° 25

C- INFORMACION
GRANULOMETRICA