



Relevancia de la evaluación de los aspectos geológicos y geomorfológicos para los estudios geotécnicos de pequeñas presas - estudio de casos

Relevance of the evaluation of geological and geomorphological aspects for geotechnical studies of small dams - case studies

Balbis, Agustín ¹ ✉ - Pesci, Hugo E. ¹

Recibido: 08 de Noviembre de 2012 • Aceptado: 13 de Julio de 2013

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo poner en relevancia la importancia que adquiere la evaluación de los aspectos geológicos y geomorfológicos, como paso previo a la ejecución de los estudios geotécnicos en el desarrollo de los proyectos ejecutivos de obras de pequeñas presas. El análisis de estos aspectos, además de permitir componer un adecuado contexto físico para el emplazamiento de la presa, posibilita definir preliminarmente los estudios geotécnicos, de campo y laboratorio, más apropiados a ejecutarse en cada caso. Sobre la base de estudios ya ejecutados, se detallan estudios de casos para una presa en zona de llanura (El Chañar) y otra en zona de montaña (La Calera). Las evaluaciones mencionadas han aportado valiosas herramientas de análisis para la definición de los estudios a realizar para el proyecto, como así también para la posterior definición de las obras a ejecutarse en el cierre de las presas y la búsqueda de materiales de préstamo. En los dos casos, se realizó una revisión detallada de la información geológica y geomorfológica en la bibliografía, como así también la cartografía existente en distintos organismos públicos, entre las que se destacan las cartas geológicas, topográficas, imágenes satelitales y fotografías aéreas.

La revisión y análisis descriptos, junto con las recorridas de campo preliminares, permitieron conformar una cartografía geológica y geomorfológica adecuada. En ambos casos, los estudios geológicos y geomorfológicos, permitieron hacer una correcta aproximación y aportaron elementos para la ejecución de los estudios geotécnicos que, en términos generales, validaron los estudios previos y contribuyeron a la toma de decisiones con respecto a modificaciones de proyecto en el caso de El Chañar y tipos de cierre de presa a construir en La Calera.

Palabras clave: Geología - Geomorfología - Geotecnia - Presas.

¹. Geól. Agustín Balbis y Asoc.
Cnel. Pringles 140 6° D - 5000 - Córdoba
✉ balbis.agustin@gmail.com

Abstract

This work aims to put the importance acquired relevance assessment of the geology, geomorphology, prior to the execution of geotechnical studies on the development of the final design of works of small dams. The analysis of these issues, allows composing an appropriate physical context for the dam site, and also allows defining preliminary geotechnical studies, field and laboratory best suited to run in each case. Based on studies already implemented are detailed case studies for a dam in plain area (El Chañar) and another in mountain (La Calera). The above assessments have provided valuable tools for defining analysis of the studies to be performed for the projects, as well as for the subsequent definition of the works to be executed at closing of dams and the search for lending materials. In both cases, we performed a detailed review of geological and geomorphological information in the literature, as well as existing maps in various public bodies, including the letters stand out geological, topographical, satellite images and aerial photographs.

The review and analysis described, along preliminary field traveled, helped to establish an adequate geological and geomorphological mapping. In both cases, the geological and geomorphological allowed to make a correct approach and provided information for the execution of geotechnical studies, broadly validated previous studies and contributed to making decisions about changes in the case of El Chañar project and types of closing dam to build in La Calera.

Keywords: Geology - Geomorphology - Geotechnics - Dams.

INTRODUCCIÓN

La presa de llanura, llamada El Chañar, ya construida y ubicada en el límite entre las provincias de Córdoba y San Luís, aproximadamente cuatro mil metros aguas abajo del límite entre ambas, dentro de la provincia de Córdoba. Esta presa se encuentra localizada en la cuenca inferior del río Quinto, en las inmediaciones de la estancia El Chañar en el Departamento Río Cuarto. Las coordenadas del centro del eje en la zona de su cierre se ubican a 65° 04' 25" de longitud oeste y 33° 59' 40" de latitud sur. El objetivo de esta presa es la regulación de caudales excedentes del río Popopis (Quinto). En el proyecto original, el cierre de la presa estaba previsto construirlo con un terraplén conformado por materiales sueltos finos, compactados en capas, protegido aguas arriba con una capa de suelo cemento y un enrocado. Dicho terraplén estaría conformado con sus correspondientes drenes internos, estructuras de descarga y demás obras complementarias y, para evitar las filtraciones sub-superficiales, se ejecutaría una pantalla horizontal construida aguas abajo de la presa. Desde el punto de vista geotécnico, un aspecto relevante a determinar fue la ubicación espacial de cada uno de estos materiales y su vinculación con el cierre de la presa. La evaluación geomorfológica, permitió diagnosticar los sectores por los que el río había transcurrido en el área de implantación de la presa, en los últimos períodos geológicos. Además de la coincidencia con la zona de cierre de la presa, esta situación determinó que los sondeos más profundos se realizaran en las zonas mencionadas.

La presa de montaña, llamada La Calera, que está en etapa de anteproyecto y se ubica en el Departamento Rosario Vera Peñalosa de la Provincia de La Rioja, aproximadamente doce kilómetros al norte de la localidad de Chepes en la zona periserrana de la Sierra de Chepes Las coordenadas del centro del eje en la zona de su cierre se ubican a 66° 33' 21" de longitud oeste y 31° 14' 35" de latitud sur. El objetivo de esta presa será el almacenamiento de agua para provisión de la localidad de Chepes y en este caso, al encontrarse el proyecto en una fase muy preliminar, se partió de la hipótesis que la presa a construir podría ser ejecutada con alguno de los dos tipos de alternativas que se describen a continuación. La primera, una presa

de sección homogénea, donde toda o casi toda la sección transversal estará constituida por un mismo material, en este caso formado por tierras compactadas de baja permeabilidad. Para controlar posibles filtraciones y evitar procesos erosivos o de tubificación, se prevé construir una pantalla impermeable por debajo de las fundaciones de la presa, utilizar drenes de materiales permeables con distinto tipo de características y proteger los taludes. La segunda alternativa es una presa de escollera, donde los materiales del cierre serán fragmentos rocosos de diferentes granulometrías, donde el núcleo de este tipo de presa, es ejecutado con materiales impermeables, con métodos de control de filtraciones similares a la de sección homogénea. Los estudios geotécnicos estuvieron orientados a determinar el comportamiento de ambos materiales tanto desde el punto de vista de las fundaciones de la presa, como la posibilidad de ser usados como materiales de cierre. En este contexto, además de los sondeos y ensayos en materiales sedimentarios, se realizaron estudios geofísicos, petrográficos y perforaciones en rocas, como así también, ensayos de mecánica de rocas y de absorción para identificar su permeabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tareas de gabinete

Sobre la base de los trabajos realizados en campaña y laboratorio, se procedió a compilar la información, se ejecutaron los cálculos correspondientes, se confeccionaron las planillas y gráficos, y se procesaron los datos.

Para evaluar las características geomorfológicas y geológicas de superficie, además de los reconocimientos de campo, el análisis de la bibliografía o mapas geológicos y la evaluación de los trabajos realizados en la zona, se interpretaron las imágenes satelitales disponibles. Con esta interpretación y los antecedentes obtenidos, se realizó la descripción de las distintas unidades geológicas y geomorfológicas de la zona de emplazamiento de las presas. Se vinculó la cartografía a las distintas escalas existentes (carta topográfica, planialtimetría de la zona en estudio e interpretación de imágenes) con los antecedentes y bibliografía general. Esta vinculación permitió ubicar geográficamente

ficamente las presas a los efectos de integrar la información geológica, geomorfológica y geotécnica, para la confección de las planimetrías correspondientes.

Para la determinación de los principales parámetros geotécnicos de los materiales sedimentarios identificados, se trabajó con la información obtenida de los sondeos y calicatas ejecutadas, como así también de las recorridas de campo. Los valores de densidad, ángulo de fricción y cohesión fueron estimados en función de dichas características y de los ensayos de laboratorio realizados. La tensión admisible fue calculada sobre la base de la Fórmula General de Capacidad de Carga de Terzaghi con sus modificaciones. Además, en cada caso, se realizaron los cálculos correspondientes para el cálculo de asentamientos, colapsibilidad, dispersividad y compactación. Se evaluó la permeabilidad de las muestras de laboratorio y la obtenida mediante la aplicación de los Ensayos Lugeon en las zonas rocosas y de infiltración con carga variable (tipo Lefranc) en las zonas con materiales sedimentarios permeables.

En el caso de la presa La Calera, para calcular el volumen de material fino sedimentario o rocoso disponible en los posibles yacimientos, a los efectos de la eventual construcción de la presa con materiales finos compactados o escollera, se determinaron las áreas con dichos materiales en la planialtimetría ejecutada con el programa Autocad y se las multiplicaron por las profundidades exploradas e identificadas. Los volúmenes calculados con la metodología antedicha, se compararon con los volúmenes necesarios, considerando las dimensiones del terraplén de cierre de la presa a ejecutar. Estas dimensiones se determinaron con el programa Solidworks, en función de la topografía disponible y las posibles características de la presa (coronamiento e inclinación de taludes).

Por último, en esta presa y de manera indicativa, con los datos obtenidos en laboratorio sobre el comportamiento de los materiales analizados para la construcción de los posibles terraplenes de cierre de la presa, se realizaron cálculos de estabilidad de los taludes con distintos ángulos de inclinación. Estos cálculos se ejecutaron suponiendo que los materiales de construcción de cuerpo de la presa fueran finos (limos arenosos o arenas limosas) compactados, para el caso de una presa de sección homogénea, o fragmentos rocosos de diferentes granulometrías, para el caso de una presa de escollera. En ambos casos se trabajó con la hipótesis más desfavorable, considerando un talud de 3H:1V, cohesión nula y el talud completamente saturado por el pelo de agua de la presa. Para dichos cálculos se utilizó el Método de Bishop (1955) que aplica para los materiales analizados y considera una superficie de rotura circular.

Tareas de campo y de laboratorio

En el caso de la presa El Chañar se realizó una primera etapa de exploraciones en el año 2004, cuyo objetivo fue realizar el estudio geotécnico completo de la zona de cierre de la presa y de las áreas de préstamo para la extracción de materiales de ejecución de la misma. Antes de comenzar con las tareas de campo, se recorrió la zona de emplazamiento de la traza, se identificaron los lugares de ejecución de sondeos y calicatas, se reconocieron las principales unidades geológicas y geomorfológicas y se verificaron los suelos representativos y materiales sedimentarios superficiales. En esta recorrida también se obtuvo material fotográfico y se relevaron los puntos más significativos (sondeos, vértices y otros) con GPS.

En primer lugar se desarrollaron siete sondeos exploratorios con Ensayos SPT de 10 m de profundidad y cuatro son-

deos exploratorios de 25 m de profundidad. Todos estos sondeos se realizaron sobre el eje de implante de la presa, de acuerdo a lo indicado por los proyectistas y a las características morfológicas y geológicas del terreno en estudio. Posteriormente y sobre la base de la información obtenida con los primeros sondeos, se realizaron otros, que permitieron verificar y correlacionar el perfil estratigráfico regional y profundizar la información en aquellos lugares donde la misma, por necesidades de la obra (ubicación del vertedero) o anomalías en los perfiles, debió ser mejorada. A tales efectos se ejecutaron cinco sondeos de 10 m de profundidad (aguas abajo del vertedero), otros de 15 m, de 25 m (aguas arriba del vertedero) y dos más de 20 m de profundidad. En algunos de estos sondeos se realizaron Ensayos Lefranc en perforaciones para evaluar la permeabilidad in-situ.

Además, se realizaron 16 (dieciséis) calicatas de hasta 5 m en las zonas de probables préstamos para investigación de materiales de rellenos y de fundación, y 13 (trece) calicatas de hasta 3 m de profundidad para la investigación de materiales de filtros y drenes, que permitirán definir áreas de préstamo para yacimientos. Estas calicatas también permitieron corroborar la distribución y característica regional de los materiales subsuperficiales a los efectos de evaluar posibles cotas de fundación, tensiones admisibles y otros parámetros geotécnicos. De cada una de estas calicatas se extrajeron muestras para ensayos de laboratorio.

En años posteriores se realizaron diversas campañas complementarias para verificar las zonas con materiales granulares gruesos, a los efectos de la conformación de la pantalla impermeable proyectada y determinar las cotas de fundación de las estructuras de cierre. También, una vez ejecutada la pantalla con una mezcla de suelo-cemento-bentonita, se extrajeron muestras de la misma para evaluar su impermeabilidad y se colocaron piezómetros en diversos lugares del coronamiento de la presa.

En el caso de la presa la Calera las tareas se dividieron en dos etapas secuenciadas. En la primera se ejecutaron dos prospecciones geosísmicas y cuatro prospecciones geoléctricas. Además, sobre la base de planialtimetría confeccionada, se relevó la traza de emplazamiento del cierre de la presa y el vaso de la misma, como así también las probables zonas de préstamo y áreas aledañas de interés. Este relevamiento se realizó con el objetivo de reconocer y mapear las principales unidades geológicas y geomorfológicas. Además, la recorrida de la zona del cierre y préstamos, permitió obtener muestras de rocas para su evaluación en laboratorio. En esta campaña se realizó un relevamiento geomorfológico, geológico y geotécnico de superficie en detalle de las zonas de probable emplazamiento de las obras. En el mismo se hizo el reconocimiento de estructuras geológicas discontinuas, en direcciones y buzamientos, y de los principales lineamientos estructurales (esquistosidad, fracturas y fallas) en las zonas de las obras clasificadas según orden de importancia. El relevamiento geológico se realizó en la zona de emplazamiento del cierre y la totalidad de la zona a inundar por el embalse. Esto se ejecutó con especial énfasis para evaluar la posibilidad de existencia de sitios que puedan presentar dudas en cuanto a la estanqueidad del vaso, así como las áreas de potencial remoción en masa, siempre como consecuencia del incremento de cota inundación hídrica y los movimientos del nivel de embalse. El relevamiento geológico se apoyó en la planialtimetría del embalse confeccionada para este fin y, sobre esta base, se elaboraron perfiles geológicos teóricos en la zona de emplazamiento de la presa y sus principales obras asociadas,

indicando el nivel de superficie y las estimaciones de los distintos estratos de interés para el Proyecto.

Se ejecutaron cinco sondeos con perforaciones rotativas en materiales rocosos y aluvionales gruesos con equipo rotativo y tres sondeos con Ensayos SPT en sectores donde se identificó la presencia de materiales blandos o suelos. Este conjunto de perforaciones y sondeos permitieron definir la yacencia de los materiales litológicos que componen el cierre natural de la presa. Para la definición del sitio y profundidad de cada uno de estos sondeos, se utilizaron como referencia principal resultados de los estudios geofísicos realizados (sísmicos y geoelectrónicos). En los probables sitios de ubicación de yacimientos de materiales finos, se ejecutaron veintiún sondeos con pala vizcachera de tres metros de profundidad promedio, con toma de muestras cada un metro, se hicieron tres calicatas a cielo abierto de tres metros de profundidad promedio con toma de muestras cada un metro y se extrajeron muestras de una excavación abierta en la barranca derecha del río. En el caso de las zonas con materiales gruesos de aluvión, se procedió a realizar cuatro calicatas a cielo abierto en el cauce del río, aguas arriba del cierre de la presa y ubicadas aproximadamente a cien metros una de la otra, con toma de muestras cada un metro. Además, en dos puntos determinados previamente, se realizaron Ensayos Lugeon y Lefranc. Estos ensayos se realizaron para determinar la permeabilidad in-situ de los materiales rocosos y sedimentarios implicados debajo del cierre de la presa, en las zonas más críticas.

Tareas de laboratorio

Todas las muestras extraídas de los sondeos y calicatas de los posibles yacimientos de suelos, fueron identificadas mediante el "Sistema de Clasificación Unificado de Suelos". Además, sobre algunas muestras específicas se realizaron los siguientes ensayos especiales: Triaxiales No Consolidados y Consolidados No Drenados, de Permeabilidad, Proctor Estándar y Modificado, CBR para muestras de mezclas, de colapsabilidad, agresividad de muestras de suelo y agua, de Compresión Confinada (Consolidación), y de Dispersividad (Pin Hole).

Se procedió a procesar las muestras obtenidas en los trabajos de campo, procedentes de las perforaciones en roca y de los distintos tipos de sondeos y calicatas de los sectores de yacimientos. Esto se realizó, a los efectos de evaluar sus características físicas y geotécnicas. Las muestras de las perforaciones en roca, fueron lavadas y tamizadas para su identificación petrográfica, comparándolas con los resultados de los estudios petrográficos previamente ejecutados. En este caso, se trabajó con la información recopilada en el campo y en las planillas de logueo.

En el caso de la presa la Calera, en la primera etapa los trabajos de laboratorio se circunscribieron a estudios petrográficos y evaluación de parámetros físicos de las rocas cristalinas ígneas que yacen en el sector que constituirá el cierre de la presa.

CONSIDERACIONES GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS

Presa El Chañar

La presa El Chañar se ubica dentro de la Provincia Geomorfológica Llanura Chacopampeana, que es una extensa planicie donde los rasgos geomorfológicos responden principalmente a las estructuras dominantes, a la litología y a las oscilaciones climáticas del Cuaternario. Utilizando como base las unidades

cartográficas propuestas por *Cantú y Degiovanni (1984)*, el sector de interés pertenece a la Región Eólica Arenosa Subhúmeda Transicional. A esta región se la incluye dentro de la Asociación Geomorfológica "Llanura Medanososa del Río Quinto", correspondiéndose esta última con la Planicie Medanososa propuesta por *Capitanelli (1979)* y a la Pampa Medanososa propuesta en el Manual "Los Suelos 1:500000" del Gobierno de la Provincia de Córdoba (2003).

El Río Quinto (Popopis), que tiene sus nacientes en la Provincia de San Luis y cuya cuenca de aporte y dinámica hidráulica está fuera del alcance de este trabajo, es la geoforma que determina los rasgos y procesos geomorfológicos dominantes del sector en estudio. Este río en la actualidad se encuentra regulado con una serie de embalses en la provincia antes mencionada, consecuentemente su dinámica hídrica está parcialmente controlada. No obstante a ello, presenta picos de caudales de considerable magnitud generados a partir de las descargas de estos embalses y aguas debajo de los mismos. En la zona en estudio las morfologías dominantes y gran parte de los suelos están asociadas a la dinámica actual y pasada del río Quinto que, con sus formas y paleoformas, han definido el paisaje. Es así que la Subunidad Geomorfológica dominante a analizar sea la Faja Fluvial del río, donde se distinguen claramente de las demás, el lecho ordinario o canal de estiaje, el lecho extraordinario que comprende la llanura de inundación y las terrazas.

En el canal de estiaje de este río se reconocen áreas críticas de erosión lateral de márgenes por el desplazamiento de la corriente y fenómenos de turbulencia que originan las salientes en las riberas. Además, se ven pequeñas islas móviles de sedimentos limo arenosos sin vegetación, barras laterales y barras en punta. Se observan sectores donde el brazo principal del río se escapa del canal de estiaje y aborda las terrazas bajas generando nuevos canales que luego se reconducen al canal principal. Estos abandonos, que se deben a pérdidas locales de pendiente, embanques o estrechamientos de sección, son típicos en ríos de llanura. En la zona sur del área de interés se identifica claramente un brazo secundario alternativo (brazo sur) del río que se activa cuando el brazo principal presenta caudales elevados. Regularmente este brazo presenta un caudal muy bajo vinculado a los niveles freáticos que están asociados al río. La presencia de este brazo secundario, que seguramente antes de la ejecución de los embalses en San Luis, ha tenido una actividad muy intensa, determina la existencia de un relicto de terraza con características de isla que muestra cotas similares a las terrazas altas del río (360 msnm).

En el área estudiada se pudieron individualizar tres niveles de terrazas. La inferior (T1) presenta características distintas a las dos restantes, por cuanto está sometida permanentemente a las fluctuaciones del nivel del canal de estiaje y de los lechos ordinarios y extraordinario. Está formada por los sedimentos dejados por el curso, por lo cual presenta un perfil transversal ondulado y en planta, un diseño en "espira". Desprovista de vegetación o con vegetación acuática. Es muy inestable y está ligada a los cambios de posición del canal. Esta terraza se puede individualizar en ambos brazos del río y se encuentra encajonada junto con el canal de estiaje. Los otros niveles de terrazas (T2 y T3), presentan características distintas que las del nivel inferior. Las diferencias están fundamentalmente dadas por las variaciones en sus cotas relativas y las características de los materiales de superficie. En las terrazas altas se observan materiales eólicos y el desarrollo de suelos someros. En las mismas se desarrolla vegetación diferente a la del nivel más bajo. En la terraza alta los

paleocauces están cubiertos por los mismos sedimentos modernos (arenas finas limosas o limos arenosos finos) que cubre toda la planicie, que no representan cambios sedimentarios significativos con respecto con los materiales regionales descriptos. La pendiente media en esta zona es muy baja, no observándose procesos de erosión hídrica o de remoción en masa. Los niveles de terrazas están limitadas entre sí por un quiebre de pendiente o barranca. En la zona en estudio la altura de las barrancas varía entre 1 m y 2 m. En tanto en algunos sectores del brazo sur se observa barrancas que superan los 5 m de altura. Estas barrancas se formaron a partir de cambios climáticos y de la morfología fluvial.

Por las razones expuestas, la máxima variabilidad de geformas y suelos asociados está en sentido transversal al río (norte – sur), que coincide con el cierre frontal de la presa. En las zonas alejadas de la faja aluvial descripta, particularmente en la zona norte (margen derecha) la erosión eólica es muy importante. Desde el punto de vista sedimentario, de acuerdo con lo observado y analizado en los sondeos y, en coincidencia con lo

analizado geomorfológicamente, se pueden determinar tres áreas claramente diferenciadas. Por un lado la terraza alta y la llanura arenosa (Sectores Altos), donde predominan los sedimentos limo arenosos finos y arenosos finos limosos. Las terrazas bajas y llanura de inundación del río (Sectores Bajos), donde se distingue un paquete sedimentario de profundidades variables (3 m a 7 m) compuesto por arenas medias a gruesas, que está directamente vinculado a la dinámica hídrica actual y pasada reciente del río. Por último, las áreas aledañas al cauce secundario donde se identifican bancos laterales de arenas medias a gruesas lavadas de escasa potencia.

El nivel freático en el área en estudio tiene una fuerte correlación con el río, observándose que en los sectores bajos el mismo se encuentra a escasa profundidad (menos de 2,5 m) y en los altos la profundidad oscila entre 8 m y 10 m. En el sector en estudio se puede decir que el río tiene un comportamiento de tipo “influente” o “infiltrante”, es decir que no recibe ninguna escorrentía subterránea, sino que pierde por infiltración parte de su caudal.

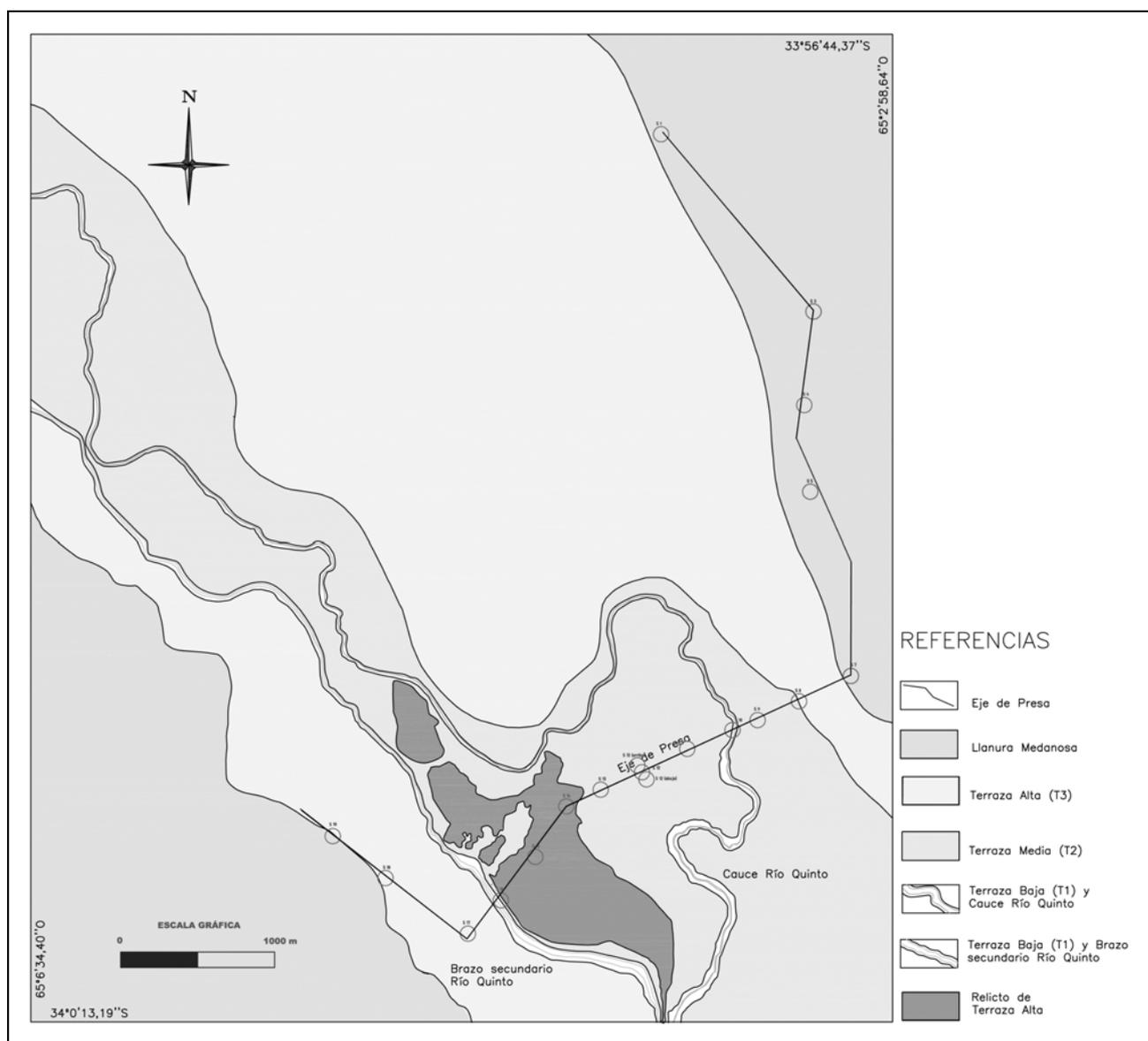


Figura 1. Carta geológico-geomorfológica Presa El Chañar.

Presa la Calera

La presa La Calera estará emplazada en un valle morfológico ubicado en el extremo sur de la Sierra de Chepes. Esto determina que la conformación geológica y geomorfológica del área de emplazamiento de la misma esté directamente condicionada por las principales litologías, estructuras y rasgos geomorfológicos de dichas sierras y su pie de monte aluvional asociado. Las sierras de Chepes y de Los Llanos conforman el extremo sur occidental de las Sierras Pampeanas Occidentales y constituyen una entidad geológica formada por un zócalo metamórfico, que se encuentra intruído por granitoides de edad paleozoica. De acuerdo con la Carta Geológica elaborada por el SEGEMAR, en el área en estudio donde se emplazará la presa, se distinguen las siguientes unidades geológicas: Depósitos de planicies aluviales pedemontanas, conformadas por gravas y gravas arenosas de edad holocena, Depósitos de pedimentos cubiertos, conformados por conglomerados de edad pleistocena, Complejo ígneo de Chepes no diferenciado, conformado por granodioritas, granitos, migmatitas y tonalitas, de edad ordovícica, Migmatita granito de dos micas, conformada por un granito biotítico moscovítico 25-75%, de edad ordovícica y Migmatita con enclaves de litologías del Complejo Olta (Chepes), conformada por granito biotítico moscovítico, pegmatitas, apilitas, escasa granodiorita y tonalita, de edad ordovícica.

En el sector en estudio, la Sierra de Chepes presenta una morfología accidentada, con mayores elevaciones y pendientes más escarpadas al oeste del río La Calera y una morfología un poco más aplanada y abochonada, con menores elevaciones relativas y pendientes menos accidentadas al este del río. Esto probablemente se deba a una mayor competencia de las rocas aflorantes al oeste, a una sobre elevación de la misma por activación de fallas del sector o a una mayor juventud del encajamiento ígneo. Como se mencionó, el complejo de rocas ígneas aflorantes se encuentra intensamente fracturado, determinando que en los lineamientos formados por este fracturamiento, se encajen pequeños valles con sedimentos aluvionales y eólicos, donde se desarrollan suelos. Además, estos lineamientos estructurales, determinan morfológicamente la red de drenaje en todos sus órdenes.

En la zona de la presa, el piedemonte de la Sierra de Chepes tiene mayor expresión en la margen derecha del río La Calera. En este sector se emplaza un abanico aluvial con sentido oeste – este que tiene su ápice en la dicha sierra. Este abanico presenta un emisario principal que desagua perpendicularmente en el río y ha labrado los pedimentos y antiguos conos que se expresan como serranías de escasa altura que bordean la Sierra de Chepes. Desde su ápice, hasta la margen derecha del río, donde se desarrollan las terrazas del mismo, el abanico tiene una longitud aproximada de 2000 m, un ancho máximo en su zona distal de aproximadamente 1200 m y una pendiente longitudinal del orden del 5 %. En superficie el abanico está conformado por sedimentos gruesos (bloques, gravas y gravas arenosas) en su zona proximal y medios a finos (arenas, arenas limosas, limos arenosos y limos arcillosos) en su zona distal. Dentro del abanico se observan algunas cerros relícticos (dorsales serranas) que presentan afloramientos de conglomerados y rocas ígneas.

La cuenca del río La Calera, tiene sus nacientes en la zona central sur de la Sierra de Chepes y presenta dos afluentes principales. Las subcuencas de estos afluentes son de características similares en cuanto a sus dimensiones, pero se observa que la subcuenca del río De los Chanchos, presenta mayores

superficies con afloramientos rocosos. Esta condición estaría determinando que la misma sea más dura y con características hidrológicas diferentes, en cuanto a la generación de picos de caudales más elevados y rápidos, con respecto a la otra. Ambos afluentes son de carácter no permanentes o temporarios, debido a que se activan en la época estival con precipitaciones intensas. El cauce principal del río La Calera, aguas abajo de la confluencia de los afluentes, presenta rumbo general norte – sur y, en la zona de emplazamiento de la presa, también es de carácter temporario. Presenta morfología recta con tramos anastomosados o trenzados y su cauce principal está conformado por arenas y rodados de hasta un metro de diámetro. Como se mencionó, en la zona de emplazamiento de la obra las morfologías dominantes están asociadas a la dinámica actual y pasada del río que, con sus formas y paleoformas, han definido la subunidad geomorfológica que se destaca en la zona en estudio, que es la Faja Fluvial actual del río. En la Faja Fluvial se distinguen claramente de las demás, el lecho ordinario o canal de estiaje, el lecho extraordinario que comprende la llanura de inundación, las terrazas bajas y las barrancas.

En la zona de emplazamiento del cierre y área de inundación de la presa se reconocen cuatro de las subunidades geomorfológicas. Estas unidades son: la loma relíctica de conos antiguos en la margen derecha del cauce, la llanura de inundación y cauce activo del río La Calera con sus subunidades asociadas (cauces secundarios y barrancas), los niveles de terrazas T1 y T2 en la margen izquierda del cauce, y la sierra con rocas aflorantes del complejo ígneo. Todas estas unidades, al igual que otros niveles de terrazas y la zona distal del cono de deyección activo, quedarán comprendidas dentro del vaso o zona inundable de la presa.

La loma relíctica, presenta una morfología alargada con sentido de oeste a este y su área cumbral aplanada. Esta zona cumbral tiene una pendiente longitudinal media (4 %) y ancho máximo en la parte superior aplanada de aproximadamente 60 m a 70 m. La ladera norte de esta loma es corta, escarpada y empinada, con pendiente transversal del orden del 35 %. De acuerdo con lo que se ha podido observar y en los trabajos de campo realizados para este estudio, estas lomas están conformadas por materiales sedimentarios de granulometrías variadas (conglomerados, limos arenosos y arenas limosas finas), que apoyan sobre rocas ígneas, que presentan distinto grado de alteración. En la zona cumbral de esta loma se observa el afloramiento en superficie de las rocas ígneas antes mencionadas, con escaso grado de alteración. En la barranca derecha del río La Calera aflora dicha roca ígnea con un intenso grado de alteración. Debido a la diferencia de altura que esta loma presenta con respecto a su entorno, la misma constituirá el cierre morfológico del vaso de la presa y será utilizada como el estribo derecho de su cierre. En la ladera norte de esta loma, que quedará expuesta a los movimientos hidráulicos de la presa, además del intenso grado de meteorización que presenta la roca que aflora en la barranca del río, se observan procesos de erosión en surcos y cárcavas pequeñas, como así también incipientes procesos de remoción en masa y deslizamientos de ladera. Estos procesos, se desarrollan particularmente en los materiales sedimentarios menos consolidados o cementados, como los conglomerados y limos arenosos con gravillas.

El complejo ígneo se encuentra intensamente fracturado y esto queda claramente expuesto en la morfología general del río, donde se puede ver que en la zona de emplazamiento del cierre de la presa, el mismo hace un quiebre pronunciado

hacia el sudeste, modificando abruptamente su rumbo original que es nornoreste-sursuroeste. El nuevo rumbo (noroeste-sudeste) coincide con el lineamiento que presenta la loma relicta antes descrita y con uno de los rumbos de fracturación predominantes del complejo ígneo. En el flanco norte de la loma, a aproximadamente 600 m del río, se pudieron observar rocas ígneas intensamente milonitizadas. Estos procesos de alteración probablemente estén asociados a la activación de los mecanismos de fallamiento ocurridos en el cuaternario. También se pudo detectar un importante grado de fracturación en el espolón de roca aplítica que aflora en la margen izquierda del río a aproximadamente 40m aguas arriba del cierre de la presa. Además de estar sometida a cíclicos procesos de humedecimiento y secado, probablemente la intensa meteorización de la roca granitoide que se encuentra en la base de la barranca izquierda del río, esté asociada a estos fallamientos.

La llanura de inundación y el cauce activo del río La Calera, son de carácter temporario y se activan con las intensas precipitaciones de la época estival. Como se mencionó anteriormente, el tramo del río implicado presenta una morfología recta, asociada al sistema de lineamientos de fracturación general de la zona. El río presenta un mediano a bajo grado de anastomamiento de los canales principales, con activa movilidad del eje del cauce en cada crecida del río. En la zona de emplazamiento del cierre de la presa, el río presenta un ancho máximo entre barrancas de aproximadamente los 50 m, una pendiente longitudinal del 0,7 % y una pendiente transversal en el lecho, prácticamente nula. Los materiales expuestos en el lecho del cauce del río y llanura de inundación en la zona de cierre de la presa, son arenas de granulometrías medias a gruesas, gravas redondeadas y cantos rodados de hasta 0,5 m de diámetro. En el cauce se observan intensos procesos de erosión lateral, erosión vertical y acumulación localizados, producto de los movimientos estacionales del cauce. El río presenta una elevada tasa de transporte y sedimentación, con predominio de materiales areno gravosos que se expresan en las características superficiales del cauce.

Las barrancas del río son de carácter erosivo, predominando la erosión lateral en los materiales sedimentarios, particularmente en los tramos donde el río tiende a recostarse sobre las márgenes. En algunas barrancas laterales del río se observan afloramientos de rocas ígneas intrusivas como granitos y aplitas que, al presentar mayor competencia a la erosión hídrica, se exponen como salientes que producen desvíos puntuales del río, funcionando como espolones. Las terrazas T1 y T2 que se encuentran en la margen izquierda del río, presentan una morfología semiplana a suavemente ondulada con una pendiente longitudinal en el sentido de la dirección del río del orden del 1% y una pendiente transversal del orden del 1,5 %. En estas terrazas se observan algunos paleocauces y canales abandonados, muchos de los cuales se activan en la época estival, colectando los excedentes hídricos de los pequeños arroyos de carácter temporario que tienen sus nacientes en la zona serrana alemana. En estas terrazas los materiales sedimentarios predominantes son los limos arenosos y arenas limosas, que apoyan directamente sobre materiales fluvio aluviales (arenas y gravas) o sobre las rocas ígneas con distinto grado de meteorización, antes mencionadas. En la parte superior y superficial de estos materiales sedimentarios modernos, se han desarrollado suelos orgánicos con distinto grado de evolución, característicos de las terrazas fluviales. Con excepción de la erosión lateral del río en algunos sectores puntuales y algunos procesos incipientes de erosión hídrica lateral y vertical en los canales colectores antes

mencionados, en las terrazas de la zona de emplazamiento del eje y vaso de la presa no se observan procesos geomorfológicos activos e intensos.

La sierra que se encuentra en el extremo izquierdo del cierre de la presa, en la zona de su estribo, presenta una morfología escarpada con farallones y quebradas abruptas, que permiten que se diferencien claramente de la zona de terraza antes descritas. Como se mencionó con anterioridad y se puede ver en el análisis petrográfico, las rocas aflorantes son ígneas, predominantemente de tipo tonalítico, granítico o granitoides, intruídas por diques de aplitas y pegmatitas. Estas rocas son muy competentes, pero se encuentran intensamente fracturadas con rumbos promedios predominantes N 125°, N 30° y N 110°. En general estas fracturas presentan buzamientos subverticales, con excepción de las de rumbo N 110°, que presentan buzamientos de 35° a 45°. El grado de fracturación citado se puede observar claramente en las imágenes satelitales y determina las características del paisaje y los estadios de meteorización superficial de la roca. La meteorización y los procesos de erosión posterior han determinado el paisaje abochonado que presentan las rocas aflorantes. De los análisis físicos realizados y lo que se desprende del estudio sísmico, cuando las rocas descritas se encuentran escasamente alteradas son muy competentes. Esto es así, debido a que son muy densas, tienen baja absorción y elevada resistencia a la compresión, con valores superiores a 1000 kg/cm². Por lo tanto, presentan elevadas velocidades de refracción sísmica (valores superiores a 5000 m/s). Estas condiciones determinan que estas rocas sean de buena calidad para el anclaje y fundación de las estructuras de cierre de la presa en la zona de estibo, vertedero y otras.

Por último, se describe la zona distal del cono de deyección activo, que quedará comprendida dentro del vaso o zona inundable de la presa en la margen derecha del río. Esta zona presenta una morfología plana a semi plana con una pendiente longitudinal perpendicular a la dirección del río del orden del 3 %. Como se mencionó con anterioridad en esta zona distal del cono predominan los sedimentos de granulometrías finas a medias como los limos arenosos, limos arcillosos y arenas limosas de origen eólico o fluvioeólicos retransportados. Estos materiales apoyan sobre sedimentos aluviales más gruesos del cono de deyección, fluvioaluviales de las antiguas terrazas del río y rocosos del basamento ígneo. En la parte superficial de los materiales sedimentarios finos, se observa el desarrollo de suelos someros con escaso contenido de materia orgánica, aunque suficientes para el crecimiento del monte serrano. Esta zona distal del cono es atravesada, de oeste a este, por una serie de arroyos de carácter temporario que se activan en la época estival. El arroyo de la Quebrada del Tala es el emisario principal del cono, es el que presenta mayores dimensiones y funciona como afluente principal del río en la zona en estudio. La cuenca de aporte de este arroyo se encuentra en las sierras del oeste del área de emplazamiento de la presa. En algunos de estos arroyos se desarrollan procesos de erosión vertical y lateral, en algunos casos intensos. Estos procesos tienen mayor expresión en los sectores con materiales sedimentarios más finos (limos arenosos), en la zona transición hacia las barrancas del río, donde se produce el cambio de pendiente. Es así, que entre el camino y la barranca derecha del río, dentro de lo que será la zona de inundación de la presa, se han identificado al menos cinco cárcavas con distinto grado de desarrollo. Muchas de estas cárcavas están activas y presentan barrancas laterales, con taludes verticales de hasta 3m de altura. En las barrancas se exponen los materiales sedimentarios finos limosos de origen eólico o fluvioeólicos

antes descriptos. En el fondo de alguna de estas cárcavas, se pudieron identificar afloramientos rocosos.

Los materiales sedimentarios finos erosionados en las cárcavas, son transportados hasta el río y forman parte de los sedimentos que componen su cauce. Estos aspectos deberán ser contemplados en el proyecto ejecutivo de la presa, por cuanto en el embalsamiento y desembalsamiento de la misma, muchos de estos procesos de erosión, transporte y sedimentación se pondrán en funcionamiento, probablemente agudizando su actividad. Esto aportará una mayor cantidad de material sedimentario al que ya transcurre por el río, agudizando los procesos de embancamiento en el sector de cierre de la presa.

CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

Presa El Chañar

Las perforaciones y los Ensayos SPT, con toma de muestras y análisis de laboratorio, permitieron realizar una buena identificación de los distintos estratos sedimentarios, la identificación de los niveles freáticos y la determinación de las principales variables físicas de los suelos. Los Ensayos SPT cada metro, arrojaron valores razonables para los tipos de suelos regionales estudiados (arenas finas limosas, limos arenosos finos y arenas limosas) ubicados en la zona alta y las arenas medias a gruesas limosas ubicadas en la zona baja. La mayoría de los suelos regionales son clasificados como "SM" (arenas limosas de baja cohesión y plasticidad) en el Sistema Unificado de Casagrande, con excepción de algunos estratos de materiales limosos que son clasificados como "ML" y otras de materiales arenosos

en la zona baja clasificados como "SP", "SP-SM" o "GP". Algunas capas puntuales de limos presentan plasticidades elevadas, pudiéndose los clasificar como "CL" o "CH", pero estas capas son poco representativas.

Sobre la base de los resultados obtenidos en los distintos ensayos, se pudieron obtener tensiones admisibles generalizadas indicativas. Estas tensiones fueron calculadas sobre la base de los valores de número de golpe obtenidos del Ensayo SPT y las Fórmula General de Capacidad de Carga de Terzaghi con sus modificaciones, a las cuales se les aplicó un coeficiente de seguridad del orden de 3. En los sectores altos se utilizaron valores de fricción del orden de 15° y en el bajo del orden de 30°, siempre con cohesiones muy bajas o nulas.

Los Ensayos de Colapsabilidad realizados con el Método del Doble Edómetro, permitieron definir que los suelos estudiados no son Colapsables al humedecerse, ya que los valores de Coeficiente de Colapso obtenidos son mayores a "1". En los casos ensayados, en términos generales, la saturación produce expansión limitada a tensiones menores de 1 kg/cm², las curvas son similares y redondeadas y en algunos casos no se observan claramente presiones de fluencia. Solamente en algunos casos, son Potencialmente Colapsables si se supera la presión de "colapso" saturada, arrojando siempre valores de Coeficiente de Colapso mayor a "0" y en muchos casos cercanos a "1". No se puede indicar una "zona" con suelos potencialmente colapsables, ya que se han identificado estratos aislados, pero los mismos están siempre ubicados en las zonas altas (margen izquierda) cercanas a la superficie o son limosos. Los Ensayos de Dispersividad realizados con el Método Pinhole, permitieron

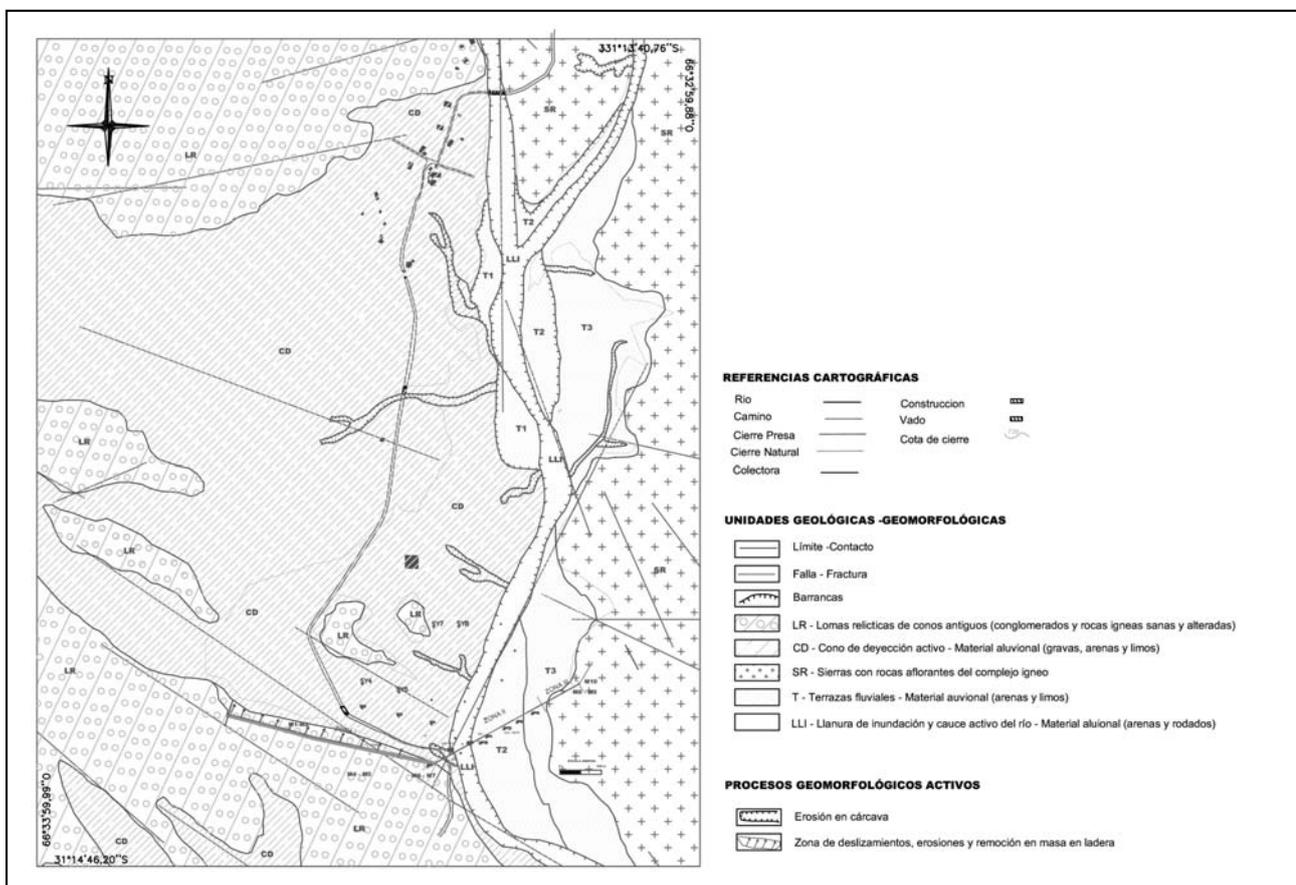


Figura 2. Carta geológico-geomorfológica Presa La Calera.

definir que los suelos estudiados son Dispersivos, observándose en la mayoría arrastre de material, con valores de turbidez desde moderadamente oscura a muy oscura, diámetro de orificio final superior a 2 mm, lo cual los encuadra en la clasificación según el Método A de la Norma D 4647- ASTM, como D1 (Altamente Dispersivos).

Estos resultados indican que los suelos regionales (arena fina limosa) pueden ser compactados a densidades aceptables con humedades de compactación razonables, en tanto los suelos de los sectores de yacimientos (limos pardos algo plásticos o con materia orgánica), en principio no alcanzan valores de compactación adecuados para ser utilizados en los terraplenes. Como se puede observar los suelos regionales (arena fina limosa y limos arenosos finos) son poco permeables y las arenas medianas a gruesas limosas con gravas de la zona del vertedero y zona de influencia (bajo del río Quinto) tienen permeabilidad baja.

Presa la Calera

Como se puede ver en el perfil, las características geológicas identificadas con las perforaciones coinciden con lo descrito en el apartado de geología y geomorfología y, en términos generales, con lo evaluado en la campaña geofísica. En el mismo se pueden distinguir tres sectores con morfologías y materiales sedimentarios o rocosos expuestos, de propiedades disímiles. Un primer sector (Zona I) en la margen derecha del río, de aproximadamente 500 m de longitud, que conformará el cierre morfológico natural de la presa y corresponde a la loma relicta de los antiguos conos de deyección. Aquí se pudo establecer

una secuencia de sedimentos aluviales modernos (conglomerados polimícticos parcialmente cementados de matriz arena limosa, arenas limosas y limo arenosos con gravas) que apoyan sobre rocas del basamento ígneo (granitos y granitoides) muy alteradas. Estas últimas rocas, en algunos sectores se encuentran muy húmedas a saturadas, como por ejemplo en las inmediaciones del río (SEV 1). Las mismas van gradando su estado de alteración en profundidad, hasta alcanzar las rocas ígneas frescas del complejo granítico que se encuentran fracturadas y escasamente alteradas. Como se dijo anteriormente, en los sectores más alejados de la barranca del río, a aproximadamente 350 m hacia el oeste de la misma, las rocas ígneas afloran en superficie en la zona cumbre de la loma. Estas rocas ígneas aflorantes presentan distinto grado de alteración y seguramente son las que conforman el núcleo litológico de la loma. En la ladera norte de la loma en análisis existen cortes antrópicos (talud del camino y zanja de acueducto), como así también erosiones y pequeños procesos de remoción en masa, donde queda expuesta la secuencia de materiales conglomerádicos y aluviales mencionados anteriormente. En estas exposiciones se pudo determinar que los conglomerados apoyan sobre sedimentos finos de granulometrías arena limosas y limos arenosos con gravas, que son producto de la meteorización y descomposición de las rocas ígneas alteradas.

Con la perforación ejecutada en este sector, se corroboró y precisó con mayor detalle lo determinado con la geofísica. Allí se pudo observar que, por debajo de los cuatro metros de materiales sedimentarios aluviales, el paquete roca ígnea alterada (granitoide) tiene un espesor de aproximadamente veinticinco

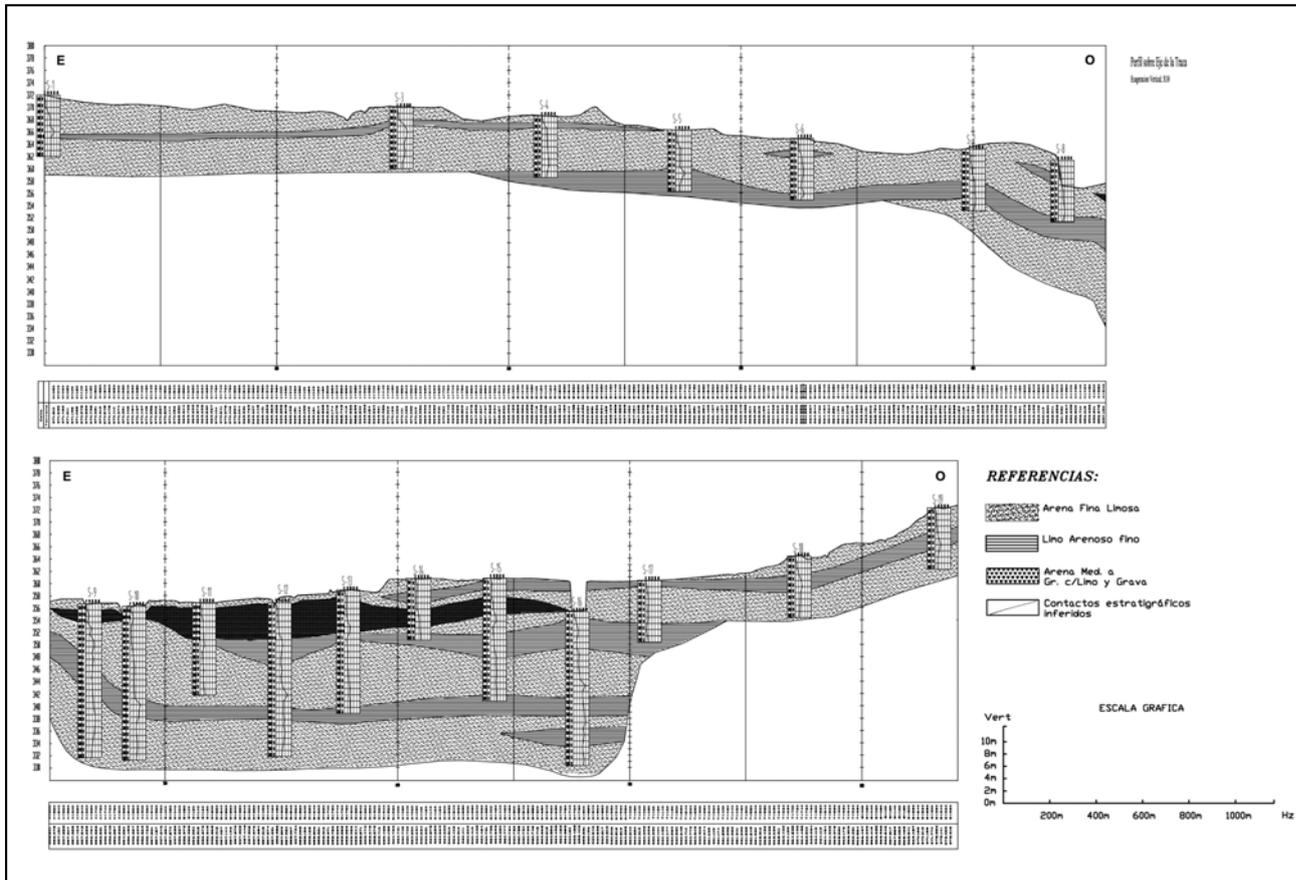


Figura 3. Perfil geológico-geotécnico Presa El Chañar.

metros. Esto hace que la roca sana se encuentre a veintinueve metros de profundidad. La segunda perforación se ejecutó en un sector que actualmente es ocupado por el lecho del río, pero que fue ganado a la barranca del mismo con excavaciones antrópicas. Por lo tanto, la perforación mencionada comienza directamente en materiales rocosos muy alterados que gradan a una tonalita en buen estado y resistente. Intercalada en la secuencia de la roca alterada, entre los cinco y los nueve metros de profundidad, se pudo identificar una roca aplítica o pegmatítica muy resistente y con baja alteración. La existencia de este tipo de roca, probablemente explique los valores elevados que arrojó el ensayo de sismica de refracción ejecutado en este punto.

El nivel freático mantiene relación con la cota del lecho del río y presenta algunas variaciones en su cota, que probablemente se deban al período del año en que se ha medido. Al estar vinculado a la cota del pelo del río, se presume que este nivel freático tiende a ascender cuando el mismo presenta crecidas estacionales. El propio cauce, al haber erosionado verticalmente la llanura y profundizado su cota, funciona como depresor del nivel freático en su área de influencia. En las terrazas de la margen izquierda del río, la cota del nivel freático se encuentra un poco más elevada, lo cual estaría indicando que el río se comporta de manera influente y efluente, dependiendo de la época del año. El resultado del ensayo de permeabilidad in-situ (Lugeon), indica que las rocas alteradas y en buen estado (sana), que se encuentran en profundidad por debajo del lecho del río, presentan permeabilidad muy baja. El resultado del ensayo de permeabilidad in-situ, mediante el Ensayo Lefranc, indica que los materiales aluvionales del lecho del río, presentan permeabilidad media a alta.

En los sondeos y calicatas realizados en los sectores sedimentarios del pie de monte, se pudo ver que existen zonas claramente definidas y con una marcada homogeneidad en los materiales sedimentarios en cada una de ellas. Los sedimentos que predominan en los sectores distales del cono de deyección ubicado en la margen derecha del río, son de granulometría fina (limos arenosos finos, arenas finas limosas y arcillas limosas). Hacia el oeste del área de estudio predeterminada, se observan bancos de arena media a gruesa con gravilla. Estos materiales finos a medios son característicos de las zonas distales del pie de monte y coinciden con los descritos en la evaluación geomorfológica realizada. En general, los suelos de la zona distal del cono de deyección son clasificados en el Sistema Unificado de Casagrande como: "ML" (limos arenosos finos), "CL" o "CL-ML" (arcillas y arcillas limosas plásticas), "SM" (arenas limosas de baja cohesión y plasticidad) y "SP" o "SP-SM" (arenas y arenas limosas). Los materiales que predominan en el cauce del río y en la terraza de la margen izquierda del mismo son de granulometría gruesa, en particular en el cauce, donde predominan las arenas, gravas y rodados. En esta zona se identificaron bancos o lentes de materiales con granulometrías gruesas, clasificados como "SM" (arenas limosas de baja cohesión y plasticidad), "SP" o "SP-SM" (arenas y arenas limosas) y "GP" (gravas), que puedan ser utilizados como materiales de filtros o para la ejecución de hormigones.

Los suelos regionales (limos arenosos finos y limos algo arcillosos), pueden ser utilizados en los terraplenes y alcanzan densidades de compactación aceptables, cuando se los compacta con elevadas energías de compactación. Los suelos regionales ensayados sobre muestras compactadas con distinta energía de compactación, son poco permeables y pueden ser utilizados como material de relleno del terraplén de cierre. Este grado im-

permeabilidad se podría optimizar aún más, ejecutando una capa de suelo - cemento en la cara del talud del terraplén expuesta al agua embalsada en la presa. Sobre la base de los resultados obtenidos, se puede observar que los suelos ensayados aumentan su ángulo de fricción interna y, consecuentemente, sus tensiones admisibles cuando se los compacta. Los resultados de los ensayos triaxiales consolidados, donde se puede simular una aproximación mayor a la condición final del estado de los suelos en el núcleo de la presa en el tiempo, permiten determinar que los ángulos de fricción aumentan aún más. Estas tensiones fueron calculadas sobre la base de la Fórmula General de Capacidad de Carga de Terzaghi, con sus modificaciones, a las cuales se les aplicó un coeficiente de seguridad de 3. Para estimar valores de tensiones admisibles a dos profundidades (5 m y 10 m) en el núcleo de la presa, se utilizaron valores de fricción interna de 22° para el caso del estado no consolidado y de 30°, para el caso del estado consolidado, con cohesiones de 0,110 kg/cm² y 0,130 kg/cm² respectivamente. Los Ensayos de Compresión Confinada realizados, permitieron definir que todos los suelos analizados tienen características similares y, en términos generales presentan menores deformaciones cuando han sido previamente compactados. En los resultados se puede ver que estos suelos, para deformaciones del 3 %, pasan de valores del orden de 0,400 kg/cm² en estado saturado y 0,650 kg/cm² en estado seco, cuando no están compactados, a valores máximos del orden de 1,250 kg/cm² en estado saturado y 2,100 kg/cm² en estado seco, cuando si lo están. De estos mismos resultados se desprende que, en estado natural, todos los suelos analizados son Potencialmente Colapsables.

Las muestras de rocas analizadas corresponden a rocas ígneas plutónicas de texturas equigranulares de grano medio. Las muestras extraídas de un sector ubicado sobre la dorsal de la loma relicta en lo que constituirá el cierre natural derecho de la presa, corresponden a un monzogranito de color gris, cuya mineralogía principal está constituida por cuarzo, feldespato y biotita. Otra muestra extraída en este sector es un monzogranito biotítico con abundancia de cristales de microclino, y además se observa la presencia de allanita como accesorio importante. A una muestra extraída de la barranca derecha del río, no fue posible clasificarla adecuadamente debido al avanzado estado de alteración de los feldespatos, cercano al 95 %. Sin embargo, en ésta se observaron núcleos allaníticos alterados con epidoto secundario en disposición coronítica, similar lo observado en las muestras descriptas. De las dos muestras extraídas en el sector de cierre izquierdo del río, que además podría funcionar como yacimiento de material de escollera, una es una tonalita de color gris, con claro predominio de plagioclasa sobre el feldespato alcalino (feldespato alcalino ~ 2-5 % modal), y la otra es una aplita color rosado pálido, con presencia de feldespato, cuarzo y biotita como minerales principales. De acuerdo con la clasificación del estado de macizos rocosos, según *ISRM (1981)*, las rocas de las muestras obtenidas en la loma relicta tienen grado bajo de alteración/meteorización leve a moderado (Grado entre II y III), una de las muestras del sector izquierdo presenta alteración muy baja (Grado I) y la M7 tiene un grado de alteración extrema (Grado V, completamente alterado/meteorizado). Sobre la base de los resultados obtenidos, se puede observar que los parámetros físicos de las rocas ensayadas tienen una directa relación con las características litológicas, estructurales y de yacencia de las mismas. Esto se expresa en los valores porcentuales de absorción, densidad y, particularmente, en la resistencia a la compresión de las mismas. Por otra parte, tiene un correlato directo con el grado de

alteración que presentan y la posterior dificultad para excavación que pueda presentar cada una de ellas.

Los volúmenes y las características geotécnicas de los materiales analizados, permiten determinar que en la zona estudiada existen condiciones adecuadas en calidad y cantidad para la apertura de yacimientos de materiales finos, granulares o rocosos, para ser utilizados en la ejecución de la presa.

Esto sucede para el caso que se pretenda utilizarlos como yacimientos de materiales finos susceptibles de ser compactados si la presa se diseña con materiales homogéneos, como así también, para el caso que se decida diseñar una presa de escollera. Además, existen materiales suficientes para ser utilizados como filtros del núcleo de la presa o áridos para la ejecución de estructuras de hormigón. Con un talud de diseño 3h:1v, si se toman los valores de ángulo de fricción promedios obtenidos de los ensayos triaxiales no consolidados (22°), para el caso de suelos finos compactados y sin considerar cohesión, los valores obtenidos con el método de Bishop para el cálculo de estabilidad de taludes verifican con coeficiente de seguridad (F) del orden de 1,70. Cuando se consideran los valores promedio de ángulo de fricción con los ensayos triaxiales consolidados (30°), los valores de estabilidad verifican con un de seguridad (F) del orden de 2,40. En ambos casos, los valores son superiores al F=1,5° establecido. En el caso de los materiales rocosos y con un talud de diseño 3h:1v, si se ejecutara una presa de escollera, con un ángulo de fricción conservador estimado en 40° para las rocas partidas y con cohesión nula, los valores obtenidos con el método de Bishop para el cálculo de estabilidad de taludes verifican con coeficiente de seguridad (F) del orden de 3,35.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presa El Chañar

- En el área en estudio se observa una dinámica geomorfológica pasada, reciente y actual muy activa con cambios permanentes y alternativos de los brazos meándricos del río Quinto (Popopis). Esta dinámica se refleja en el subsuelo y en los estratos sedimentarios.

- Se observan dos zonas o unidades geomorfológicas, geológicas y geotécnicas claramente diferenciadas: Zona de terraza alta (sobre la cota 360 snm) y Zona de terrazas bajas, llanura de inundación y brazos del río (bajo la cota 360 snm).
- La zona alta presenta características de mayor estabilidad que la baja, que está muy influenciada por la dinámica hídrica del río y su brazo secundario.
- Se observa una zona diferenciada de ambas, que es un relicto de la terraza alta comprendido entre las progresivas 5950 m y 6700 m (Sondeo S14).
- Si se las analiza como unidades separadas, en las dos zonas principales (Zona Alta y Zona Baja) se observa uniformidad en la estratigrafía y en el perfil sedimentario. Alternancia de estratos de arenas finas limosas y limos arenosos finos en la Zona Alta y un manto de arena media a gruesa con una capa superficial de limo arenoso fino con materia orgánica, sobre capas de arenas finas limosas castañas y limo arenoso fino, en la Zona Baja.
- En los sondeos realizados en ambas zonas lo niveles freáticos se presentan a profundidades similares: Por debajo de 8 m en la Zona Alta y a menos de 2,5 m en la Zona Baja (promedio 1,5 m de profundidad). La freática en la Zona Baja puede obstaculizar las tareas de excavación, obligando a su depresión.
- Los materiales predominantes en la Zona Alta son arenas finas limosas o limos arenosos finos poco cohesivos y con baja plasticidad y, en la Zona Baja, se observa de 3 m a 8 m de espesor un manto de arenas medias a gruesas con gravillas algo limosas.
- Las tensiones admisibles a distintas probables cotas de fundación en los sectores bajos (arenas medias a gruesas con gravas limosas), son más elevadas que en los sectores altos (arenas finas limosas y limos arenosos finos).

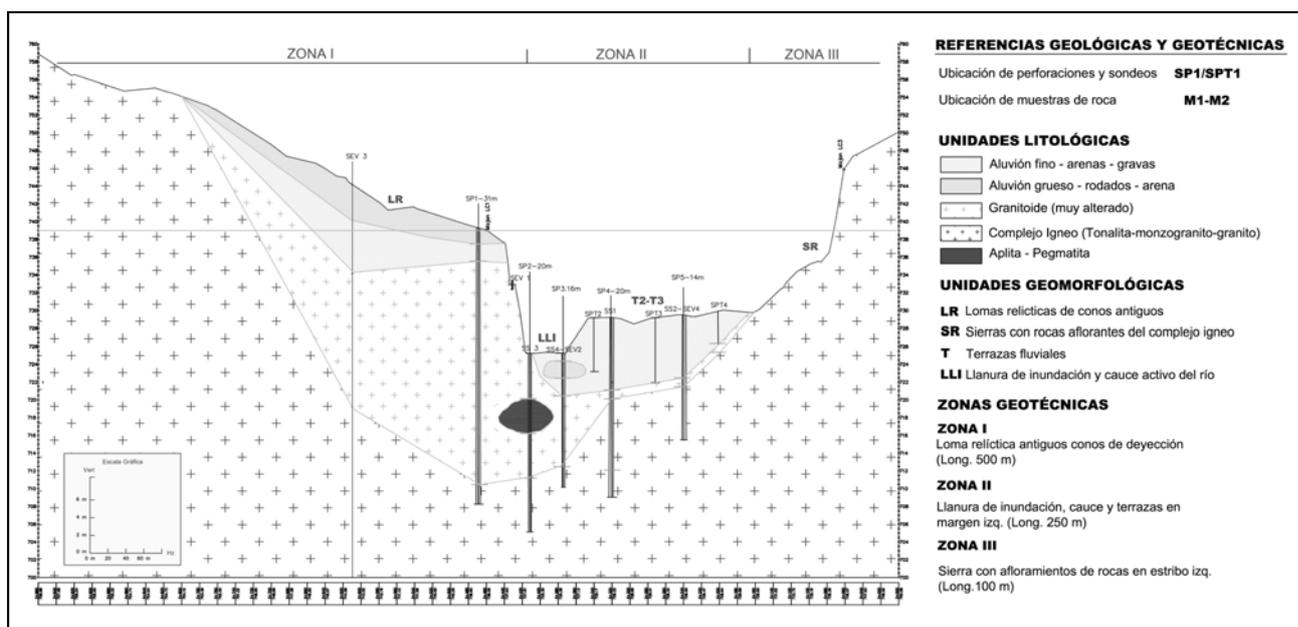


Figura 4. Perfil geológico-geotécnico Presa La Calera.

- En términos generales los materiales regionales (arenas finas limosas o limos arenosos finos) no son colapsables, sólo en algunos casos potencialmente colapsables (suelos con elevado contenidos de limo), particularmente en la margen izquierda. En todos los casos los suelos son muy dispersivos y poco permeables (particularmente en la zona alta).
- No se han encontrado zonas con dimensiones significativas con suelos cohesivos para materiales de rellenos y blanket. En la margen izquierda del río Quinto se encontraron zonas con suelos plásticos, pero con predominio de fracción limo y abundante materia orgánica, poco apto para rellenos.
- Los materiales regionales, cuando son compactados, presentan valores de Humedad Óptima y Densidad Máxima, adecuados para su uso en los terraplenes. La mezcla que mejor Valor Soporte presenta (CBR) es la compuesta por 70 % de arena media a gruesa de Brazo Secundario y 30 % de arena fina limosa.
- Existen zonas con materiales arenosos para filtros y drenes (lecho e inmediaciones del brazo secundario), pero no se los encuentra expuestos en superficies significativas (solo en cauce secundario) y los subyacentes se encuentran en bancos intercalados con bancos de limos.
- En la zona del bajo, en las inmediaciones del futuro vertedero y el río Quinto, existe un manto de arena que, una vez cubicado y analizado su potencial de explotación, puede ser utilizado para la extracción de materiales para filtros y drenes, como áridos para hormigones o paquetes estructurales viales.

Presa la Calera

- Los estudios geomorfológicos y geológicos con su correspondiente mapeo, los geofísicos, los petrográficos y las perforaciones realizadas, permitieron identificar tres zonas geológicas y geotécnicas diferenciadas sobre el eje de la presa. Éstas fueron denominadas como: Zona I (Loma relíctica), Zona II (Llanura de inundación, cauce y terrazas bajas del río) y Zona III (Sierra con afloramientos rocosos).
- La Loma relíctica (Zona I), ubicada al oeste del río, funcionará como cierre morfológico natural del vaso de la presa y servirá para el anclaje al estribo del cierre de la misma en la margen derecha del río. La obra principal de cierre de la presa y el vaso se emplazarán en la llanura de inundación, cauce y terrazas bajas del río (Zona II). El estribo izquierdo y probable yacimiento de materiales rocosos para escolleras o protección de taludes, estarán emplazados en la sierra con afloramientos de rocas ígneas que se ubican en el extremo este del sector de cierre de la presa (Zona III). Las obras de control y descarga, podrán estar ubicadas en las zonas II o III.
- En las inmediaciones cercanas del área de emplazamiento del cierre de la presa, existen zonas aptas en cantidad y calidad para ser utilizados como yacimientos de materiales de construcción del terraplén de la presa y aluvionales, para filtros u otros requerimientos. La existencia de materiales finos y rocosos en los yacimientos antes mencionados, permite la posibilidad de ejecución de ambas hipótesis de presa planteadas en los

objetivos: presa de sección homogénea en capas compactadas (sedimentos limo arenosos) o presa de escollera (rocas ígneas).

- En la loma relíctica (Zona I), se pudo determinar una secuencia de sedimentos aluvionales modernos (conglomerados polimícticos parcialmente cementados de matriz areno limosa, arenas limosas y limo arenosos con gravas). Estos materiales aluvionales apoyan sobre rocas del basamento ígneo (granitoides) muy alterados, que presentan profundidades superiores a los 20m. En la zona de influencia directa del río, como por ejemplo en la barranca, estas rocas muy alteradas se presentan expuestas. Las rocas alteradas apoyan sobre rocas del complejo ígneo (tonalitas y otras) que se encuentran fracturadas pero con bajo estado de alteración. En la zona cumbral de la loma, las rocas ígneas afloran en superficie con distinto grado de alteración. En esta Zona I, sobre el eje de la presa y en la zona cumbral de la loma, se deberá prever la ejecución de una pantalla impermeable del orden de 140m de longitud y una profundidad variable entre una máxima de 10m y una mínima de 3m. Esta pantalla se deberá ejecutar, a los efectos de evitar filtraciones en los materiales aluvionales gruesos y permeables y podrá ser conformada con una mezcla de suelo, cemento y bentonita. En la pared de la barranca expuesta, donde afloran las rocas graníticas alteradas, se deberá prever algún tipo de inyección o anclaje especial, para evitar que la degradación y expansividad de las mismas afecten las fundaciones de la presa.
- En el sector de la Zona II, que corresponde a la llanura de inundación, cauce y las terrazas de la margen izquierda del río, se pudo determinar una secuencia de espesores variable de sedimentos aluviales sueltos de granulometrías, que gradan desde rodados y arenas gruesas en el lecho del río, hasta sedimentos finos limo arenosos y areno limosos en las terrazas. Estas secuencias sedimentarias presentan espesores variables y apoyan sobre la roca granítica muy alterada. Esta roca alterada está en mejor estado conservación en profundidad, hasta encontrarse prácticamente inalterada. Los sedimentos aluvionales vinculados al río, identificados en esta Zona II, presentan permeabilidades elevadas, por esta razón y al igual que en la Zona I, se deberá prever la ejecución de una pantalla impermeable. Esta pantalla deberá tener una longitud del orden de 300m y una profundidad que varía entre los 4m y 10m. Esta pantalla también se podrá ejecutar, con una mezcla de suelo, cemento y bentonita.
- La roca ígnea alterada que se encuentra por debajo de los sedimentos aluvionales de las zonas I y II, al igual que la roca inalterada que se encuentra por debajo de la misma, se presentan confinadas y son impermeables. Por esta razón no se sugieren inyecciones especiales y, si se decidiera hacerlas por las condiciones del proyecto, la profundidad de las mismas se deberá evaluar oportunamente.
- El sector que corresponde a la Zona III, constituye la zona de cierre y estribo izquierdo la presa. En este sector se pueden observar afloramientos de rocas graníticas fracturadas, con intrusiones aplíticas. Este complejo rocoso se encuentra con una cobertura de suelos de

espesores someros, está muy fracturado y presenta grados de alteración medios en la zona de contacto con los suelos y bajos en la roca fresca infrayacente. Para el anclaje y fundación de la presa y estructuras especiales, como por ejemplo obras de descarga u otras, en todas las zonas definidas (I, II y III), se deberá remover la vegetación existente, ejecutar un desentraizado profundo, extraer el suelo orgánico superficial y, en el caso de las áreas rocosas, escarificar el material superficial alterado.

- Para una presa de sección homogénea de materiales finos compactados, en las inmediaciones del eje de la presa, a una distancia inferior a 500 m y sobre la margen derecha del río, en la denominada zona distal del cono de deyección activo con materiales aluvionales, fluvioeólicos y eólicos, se identificaron dos áreas con volúmenes suficientes para ser utilizadas como yacimiento de materiales finos. Estos materiales pueden ser utilizados para la ejecución de una presa homogénea, con materiales finos compactados en capas. El comportamiento geotécnico de dichos materiales, en cuanto a las densidades de compactación y las permeabilidades alcanzadas en estado de compactación, los estados friccionales obtenidos y los grados de asentamientos esperables luego de la compactación, permite determinar que son aptos para este tipo de presa.
- Los taludes mínimos de construcción de la presa deberán ser 3h:1v y el talud expuesto a los movimientos del agua deberá ser protegido para evitar erosiones. La protección sugerida se debe a que los suelos analizados, aún compactados, se presentan dispersivos y erosionables. Por lo tanto, en el talud expuesto a los movimientos del embalse, se recomienda ejecutar una capa de suelo cemento, cubierta con una membrana geotextil y material rocoso tipo rip-rap. El talud de aguas abajo, podrá ser protegido con una cobertura material vegetal seleccionada. En el núcleo de la presa se deberá conformar un filtro con materiales gruesos (arenas o gravas) seleccionados. El diseño de este filtro deberá estar a cargo del ingeniero proyectista. En las inmediaciones del eje del cierre de la presa, a una distancia inferior a 300 m, en su cauce y terraza de margen izquierda, existen materiales granulares gruesos en cantidad y calidad suficiente para ser utilizados como filtro o para la ejecución de hormigones.
- Para una Presa de escollera, teniendo en cuenta, la cercanía al eje geográfico del centro de la presa, las características topográficas (morro que sobresale de su entorno), la tipología y el porcentaje de los materiales rocosos expuestos, el sector este de la Zona III puede ser utilizado como yacimiento para materiales rocosos para la ejecución de una presa de escollera. Este sector también puede ser utilizado para la extracción de rocas para las protecciones de los taludes en el caso de presa de materiales finos compactados. De acuerdo a lo analizados los volúmenes de materiales disponibles son suficientes y aptos en calidad. El comportamiento geotécnico de estos materiales rocosos, en cuanto a su calidad (densidades, absorción y resistencia a la compresión, entre otros), los estados friccionales y los grados de asentamiento esperables, permite determinar que estos materiales son aptos para el tipo de presa de escollera o

para ser utilizados como protección de talud (Rip-rap). Los taludes sugeridos para la construcción de este tipo de presa deberán ser 3h:1v y el núcleo de la misma deberá conformarse con materiales impermeables.

- Durante el funcionamiento de la presa, en las maniobras de embalse y desembalse de la misma, se pueden generar procesos erosivos en la zona de las barrancas del río y acelerarse los procesos detectados en el cono de deyección de la margen izquierda del mismo. También se pueden presentar procesos de inestabilidad de taludes, como por ejemplo remoción en masa u otros, en los sectores con más pendientes elevadas de la ladera norte de la loma relíctica. Hasta su estabilización, estos procesos pueden poner en movimiento una importante carga sedimentaria. Por estas razones, puede ser necesaria la ejecución de obras complementarias de control de cabeceras en algunas cárcavas, como cuencos disipadores u otras. También se deberá estudiar la posibilidad de construir obras de estabilización en el talud de la ladera norte de la loma relíctica (Zona I) que funcionará de cierre natural en la margen derecha de la presa, como por ejemplo rellenos y reperfilados, revegetación con especies autóctonas, revestimientos con colchonetas o construcción de gaviones en le pié del talud.
- Teniendo en cuenta el importante volumen de material granular grueso (arenas y gravas) que aporta el río estacionalmente y sobre la base de estudios complementarios que deberán realizar los ingenieros proyectistas, probablemente corresponda evaluar la necesidad de ejecución de estructuras especiales, como válvulas desarenadoras u otras.

CONCLUSIONES GENERALES

Podemos concluir, en forma general, que este tipo de evaluaciones realizan un importante aporte para los estudios preliminares de pequeñas presas al brindar información relevante que permite ajustar los estudios geotécnicos específicos. Si los análisis geológicos y geomorfológicos están bien realizados, los estudios geotécnicos posteriores tienden a ratificarlos, complementando la información elaborada en los primeros. En ambos casos, las evaluaciones geológicas y geomorfológicas realizadas, permitieron hacer una correcta aproximación y aportaron elementos para la ejecución de los estudios geotécnicos posteriores que, en términos generales, validaron los diagnósticos previos.

En el caso de la presa El Chañar, como resultado de estos estudios geomorfológicos donde se pudo verificar el comportamiento presente y pasado del río, se optó por profundizar el conocimiento de los bancos arenosos, realizando mayor cantidad de sondeos y ensayos de permeabilidad complementarios, por cuanto estos bancos responden a la impronta dejada por el mismo. Finalmente, en el proyecto se optó por la construcción de una pantalla vertical de suelo-cemento-bentonita, que atravesó los bancos de arena gruesa permeables, descartándose la pantalla horizontal. En cuanto a los materiales de préstamo, el estudio geomorfológico permitió delimitar los sectores de terrazas con sedimentos aptos para la conformación del terraplén de la presa, además de los gruesos, para filtros y otras estructuras de drenaje.

En la presa La Calera, los resultados del estudio, permitieron determinar la necesidad de ejecutar una pantalla impermeable por debajo de la presa en los materiales sedimentarios

gruesos y la posibilidad de optar por alguna de las hipótesis constructivas propuestas (presas de materiales sueltos o escollera), porque existen volúmenes y calidades de materiales adecuados. En este caso, además de la información aportada por

los estudios geomorfológicos para evaluar el comportamiento del río, los estudios geológicos, permitieron hacer una correcta evaluación de los tipos de rocas, las características de su yacencia y su estado.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CAPITANELLI, R., 1979.
Geomorfología en: Geografía Física de la Provincia de Córdoba.
Cap. V pp. 263-279. Ed. Boldt, Córdoba.
- CANTÚ, M. P. Y DEGIOVANNI, S. B., 1984.
Geomorfología de la región centro sur de la provincia de Córdoba.
IX Congreso Geológico Argentino. Actas IV pp. 76-92.
- CUSTODIO, L Y M. R. LLAMAS, 1976.
Hidrología Subterránea.
Ediciones Omega, Barcelona. 1156 p.
- DAHLQUIST J. A. Y C. GALINDO, 2004.
Geoquímica isotópica de los granitoides de la sierra de Chepes: un modelo geotectónico y termal, implicancias para el orógeno famatiniano.
Revista Asociación Geológica Argentina v.59 n.1, Buenos Aires.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO L.I., 2002.
Ingeniería Geológica.
Pearson Educación SA, Madrid.
- GUTIÉRREZ ELORZA, M., 2008.
Geomorfología.
Pearson Educación SA, Madrid.
- JIMÉNEZ SALAS Y OTROS, 1976.
Geotecnia y Cimientos I y II - Mecánica del Suelo y de las Rocas.
Editorial Rueda, Madrid.
- KRYNINE, D. P. Y W. R. JUDD, 1980.
Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros.
Ediciones Omega. 829 p.
- SEGEMAR, 1998.
Carta Geológica Chepes N° 3166-III
- TERZAGHI, K. Y R. B. PECK, 1971.
Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica.
Editorial El Ateneo, Barcelona. 681 p.
- U.N.C, 2003.
Geotecnia II - Primera Parte.
Cátedra de Geotecnia - Departamento de Construcciones Civiles de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- VERSTAPPEN, H. TH., 1983.
Applied Geomorphology - Geomorphological Surveys for Environmental Development.
Elsevier.
- WHITLOW, R, 1994.
Fundamentos de Mecánica de Suelos.
Compañía Editorial Continental, México. 589 p.