

REPÚBLICA DEL PERU
MINISTERIO DE AGRICULTURA
OFICINA GENERAL DE INGENIERIA Y PROYECTOS

ESTUDIOS EN LA CUENCA DEL RIO CHILI
Y PARTE ALTA DEL COLCA

ESTUDIO GEOLOGICO

EN LA CUENCA ALTA DE LOS RIOS
COLCA Y SUMBAY

DIRECCION NACIONAL DEL AGUA



DIRECCION DE PROYECTOS



P R E S E N T A C I O N

El presente estudio fue iniciado y desarrollado básicamente por la ex-Dirección de Infraestructura de Riego de la entonces Dirección General de Aguas e Irrigación, cumpliendo un encargo de la Zona Agraria VI (Arequipa), y financiado por la Línea Global de Pequeñas y Medianas Irrigaciones, en base a los Términos de Referencia aprobados por Resolución Ministerial N° 2212 -72-AG del 02 MAY 72.

Al reestructurarse el Sector Agrario, mediante las disposiciones de la ley Orgánica del Sector, Decreto Ley N° 19608, la Oficina General de Ingeniería y Proyectos asumió, entre otras, gran parte de las funciones de la ex-Dirección de Infraestructura de Riego, y en esta condición ha continuado hasta su culminación la ejecución del presente informe.

Participó en su preparación el Ing° Alfredo Flores Nicoll de la División de Ingeniería Geológica, en coordinación con el Jefe del Proyecto Ing° Hugo Moscoso Villanueva.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



PROYECTO CHILI

ESTUDIOS GEOLOGICOS EN LA CUENCA ALTA DE LOS RIOS

COLCA Y SUMBAY

INDICE

I.- INTRODUCCION

1.1.0	Generalidades.	01
1.2.0	Objeto del estudio.	01
1.3.0.	Trabajos Realizados:	02

II.- GEOGRAFIA

2.1.0	Ubicación.	03
2.2.0	Accesibilidad.	03
2.3.0	Rasgos Morfológicos.	04
2.4.0	Clima y Vegetación.	04

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



III.- GEOLOGIA REGIONAL

3.1.0	Estratigrafía y Rocas.	05
3.2.0	Estructuras.	06
3.3.0	Geomorfología.	07

IV.- GEOLOGIA APLICADA

4.1.0	Pampa de Imata (Laguna del Indio).	08
4.1.1	Descripción General.	08
4.1.2	Climatología.;	09
4.1.3	Geología General.	09
4.1.4	Geomorfología.	10
4.1.5	Hidrogeología.	11



4.1.5.1.	Excavación de Pizómetros, Cortes Litológicos.	11
4.1.5.2	Conductividad Hidráulica.	12
4.1.5.3	Conductividad Eléctrica.	15
4.1.5.4	Curvas Isopiezométricas.	16
4.1.5.5	Balance Hidrogeológico.	19
4.2.0.	Embalse de Pillones.	21
4.2.1	El Vaso	21
4.2.1.1.	Estratigrafía y Rocas.	21
4.2.1.2	Estructuras.	23
4.2.1.3	Geomorfología.	23
4.2.1.4	Estabilidad de Taludes.	24
4.2.1.5	Impermeabilidad del Vaso.	24
4.2.2.	Zona de Cierre.	24
4.2.2.1	Estribo Derecho.	25
4.2.2.2.	Estribo Izquierdo,	25
4.2.2.3	Zona entre Estribos	25
4.2.2.4	Características de la Presa.	28
4.2.3	Materiales de Construcción.	28
4.3.0	Embalse de Bamputañe.	29
4.3.1	El Vaso.	29
4.3.1.1.	Estratigrafía y Rocas.	29
4.3.1.2.	Estructuras.	31
4.3.1.3.	Geomorfología.	31
4.3.1.4.	Estabilidad de Taludes	33
4.3.1.5.	Impermeabilidad del Vaso.	33

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



4.3.2.	Zona de Cierre.	34
4.3.2.1	Características de la Presa.	35
4.3.3.	Materiales de Construcción.	36

V.- CONCLUSIONES

5.1.0	Generalidades	36
5.2.0	Pampa de Imata (Laguna del Indio)	37
5.3.0	Embalse de Pillones.	38
5.4.0	Embalse de Bamputañe.	39

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



VI.- ILUSTRACIONES

Láminas Fotográficas.

Planos Geológicos.

Secciones Geológicas.

Plano con curvas Isopiezométricas.

Anexo con descripción de los perfiles litológicos, de los Piezómetros Excavados.



PROYECTO CHILI

ESTUDIOS GEOLOGICOS EN LA CUENCA ALTA DE LOS RIOS

COLCA Y SUMBAY

I.- INTRODUCCION

1.1.0 GENERALIDADES

El Proyecto Cuenca del Río Chili en su fase complementaria está realizando Estudios geológicos, agrológicos, hidrológicos, agro-económicos y sociales con el objeto de regular al máximo los recursos hídricos de la cuenca del río Sumbay y cuenca alta del río Colca para incrementar la disponibilidad de agua para fines agrícolas y elevar el potencial hidroeléctrico de la ciudad y alrededores de Arequipa.

En el aspecto agrícola se contempla efectuar obras que permitan regularizar el riego de 5,122 hectáreas en la Campiña de Arequipa y de 3,475 hectáreas de la Irrigación La Joya, además se irrigarán 4,000 hectáreas nuevas correspondientes a la ampliación de la Irrigación La Joya. Estas obras beneficiarán a una población agrícola de 20,000 familias y conociendo por estadísticas que la relación hombre/tierra en la región de Arequipa es inferior al promedio nacional, se justifica plenamente en el aspecto socio-económico hacer realidad este Proyecto.

1.2.0 OBJETO DEL ESTUDIO

Los Estudios Geológicos que hemos realizado son parte integrante del aprovechamiento de los recursos hídricos de las cuencas altas -de los ríos Sumbay y Colca.

Actualmente estas cuencas están parcialmente reguladas con la represa de El Fraile, con una capacidad útil de 115 millones de m³. y la represa de Aguada Blanca con un almacenamiento de 40 millones de m³. en la cuenca alta del río Sumbay. En la Cuenca Alta del Río Colca se ha construido la represa Pañe con un volumen almacenable de 95 millones de m³. y mediante un canal de derivación de 77.600 Km. de longitud se llevan estas aguas hasta el río Sumbay en la zona de Imata.

Sin embargo se hace necesario la construcción de obras adicionales que permitan un máximo de utilidad de las aguas de las cuencas, puesto que los estudios hidrológicos demuestran que se puede lograr un caudal regulado de 13m³/seg. lo que superaría en un 50% el rendimiento



actual que es del orden de 7.8 m³/seg.

Las obras adicionales a cuyo estudio geológico estuvimos abocados comprenden - Embalse en el valle del río **Bamputañe para regular casi toda la cuenca alta del** río Colca.

-Estudios hidrogeológicos en la Pampa de Imata (Laguna del Indio) para determinar la mejor ubicación del canal en su relación con la Laguna del Indio y la posibilidad de captación de las aguas de las nacientes del río, Colca.

-Embalse de Pillones que servirá como vaso regulador de los excedentes de agua de los recursos hídricos proporcionados principalmente por las represas de Pañe y Bamputañe, además de los aportes de Qdas. y talwegs que alimentan al canal de derivación.

1.3.0 TRABAJOS REALIZADOS

1.3.1 TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos en el campo se realizaron del 10 al 31 de Agosto y del 20 de Octubre al 13 de Noviembre de 1972.

a) Pampa de Imata (Laguna del Indio)

En este sector se realizaron estudios geológicos de superficie, incluyendo la estratigrafía, estructuras y geomorfología de las Pampas de Imata y nacimiento del río Colca.

Se puso especial interés en los estudios hidrogeológicos de la Laguna del Indio y alrededores, para lo cual excavamos 69 piezómetros mediante el barreno a mano tipo holandés. Se efectuaron mediciones del nivel estático de la napa freática y realizaron pruebas de Conductividad hidráulica (Permeabilidad) y perfiles litológicos de los piezómetros, para determinar algunas características hidrogeológicas de la zona.

b) Embalse de Pillones

Se levantó el plano geológico de superficie del vaso y boquilla a escala 1: 10,000. Se excavaron 41 piezómetros en el eje de la boquilla y se realizaron pruebas de Conductividad hidráulica y perfiles litológicos de los piezómetros.

c) Embalse de Bamputañe

Se realizó en mapeo geológico del vaso y boquilla a Escalas : 1: 5,000 y 1: 500 respectivamente. Se excavaron 2 piezómetros en el vaso y se



efectuaron perfiles litológicos y pruebas de Conductividad Hidráulica.

1.3.2.

TRABAJOS DE GABINETE

Se realizaron estudios e interpretación fotogeológica de la región de Arequipa para correlacionar la estratigrafía del área estudiada.

Se analizaron las muestras de agua y se determinó su conductividad eléctrica (mhos/cm.)

Se confeccionaron dos cartas isopiezométricas de los alrededores de la Laguna del Indio.

Realizamos los cálculos para la determinación de la Conductividad hidráulica.

Se efectuaron los estudios petrográficos (láminas delgadas) de las muestras de rocas representativas.

II.- GEOGRAFIA

2.1.0

UBICACION

Las áreas del presente estudio están situadas en el distrito de San Antonio de Chuca, en la Provincia de Cailloma, en el Departamento de Arequipa y se encuentran comprendidas en el cuadrángulo de Callalli (I.G.M.), con las coordenadas geográficas siguientes:

Laguna del Indio	Longitud Oeste 71°05' Latitud Sur 15°50' Cota s.n.m.m. 4,480 m.
Pillones (Boquilla)	Longitud Oeste 71°13' Latitud Sur 15°49' Cota s.n.m.m. 4,360 m.
Bamputañe (Vaso)	Longitud oeste 71°01' Latitud Sur 15°25' 30" Cota s.n.m.m. 4,590 m.'

2.2.0

ACCESIBILIDAD

El acceso a las zonas de trabajo se puede realizar a partir de la ciudad de Arequipa por carretera y por vía férrea.



-Carretera Arequipa-Puno.- Siguiendo esta carretera se llega a la localidad de Paty, en el Km. 125, de allí se continúa por un desvío hacia el pueblo de Imata. Este recorrido se realiza en 4 1/2 horas aproximadamente.

-Carretera Arequipa-Chivay.- siguiendo esta carretera en el Km. 97, se toma un desvío que pasando por Pillones llega a Imata, el recorrido total es de 136 Km. y se emplean unas 4 horas.

-Ferrocarril Arequipa-Puno.- La Estación de Imata se ubica en el Km. 164 de la vía férrea y se emplea 5 1/2 horas para el recorrido.

-El acceso a Bamputañe se realiza por el camino carrozable que partiendo de Imata se dirige hacia la Laguna de Pañe (Oscollo) recorriendo 55 Kms . en 3 1/2 horas. De Oscollo se sigue una trocha carrozable hasta el pueblo de Bamputañe, recorriendo unos 10 Kms. en 20 minutos.

2.3.0 RASGOS MORFOLOGICOS

La región, en la cual está encuadrado el presente estudio, se identifica morfológicamente con el nivel Puna.

El nivel Puna llamado también Superficie Puna, es la región Alta correspondiente al altiplano andino, en que planicies casi a nivel se extiende entre los valles principales con altitudes fluctuantes de los 3,900 a los 4,500 m. y representan los restos de la altiplanicie pliocénica, nivelada por la erosión.

Las punas son generalmente extensiones sub-horizontales (Pampas) circundadas por cordones montañosos del poca elevación sobre las pampas y asociadas al volcanismo.

2.4.0 CLIMA Y VEGETACION

En el altiplano el clima es seco y frío, caracterizado por una fuerte insolación y cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche, el fenómeno es mas acentuado durante el Invierno Austral, durante esta estación también son muy frecuentes las heladas y escarchas. Los vientos son persistentes principalmente en las tardes y comúnmente adquieren características de ventarrones.

Las precipitaciones tienen un promedio mensual máximo de Enero a Marzo y es mínimo de Abril a Agosto. Las precipitaciones promedio



anuales son del orden de 560 mm. en Imata y de 740 mm. en Pañe.

La vegetación en la altiplanicie como consecuencia de estas condiciones climáticas tan severas se limita al "ichu", "yareta" y pequeños arbustos.

III.- GEOLOGIA REGIONAL

3.1.0

ESTRATIGRAFIA Y ROCAS

La secuencia estratigráfica en la zona de estudio de los más antiguos a lo más reciente, es como sigue :

TERCIARIO SUPERIOR-CUATERNARIO INFERIOR

El volcanismo es el principal factor geológico de la región que ha actuado en diferentes épocas del terciario hasta el cuaternario.

Los estudios que hemos realizado nos permiten identificar a los afloramientos volcánicos, que constituyen casi la totalidad de las rocas existentes, con el volcánico Barroso descrito por C.Guevara y de edad Terciario-Cuaternario.

AUTORIDAD NACIONAL

La Litología consiste de alternancias de lavas andesíticas y depósitos piroclásticos (ignimbritas) en posición sub horizontal, las capas tienen potencias de 2 a 10 m. Los derrames son de coloraciones grises claros a oscuros con pátina verde a marrón; mientras que los tufos y aglomerados presentan colores generalmente blanquiscos a beige con intercalaciones verdosas y pátinas rojizas-amarillentas.

La secuencia se termina en un manto de aglomerados litificados (ignimbritas) que parecen corresponder a una fase tardía de la actividad volcánica post-orgánica. En el lugar denominado Arequipa Viejo, la erosión ha entallado en las ignimbritas, formas caprichosas que semejan un bosque de rocas.

CUATERNARIO

Los depósitos detríticos cuaternarios en el área de estudio corresponden a depósitos glaciares, depósitos lacustres, depósitos fluviales, conos de deyección y depósitos de detritos de talud.

El orden de secuencia estratigráfica es la siguiente :



CUATERNARIO ANTIGUO

Depósitos Glaciarios.- Estos son del tipo "Morrenas laterales y Terminal" y constituyen el valle glaciar de Bamputañe. Estos materiales sólo son observados actualmente en las cabeceras de los valles, especialmente en Pañe y Bamputañe donde han erosionado el valle y acumulado sus materiales heterométricos que cubren en gran parte a la formación volcánica pre-existente.

CUATERNARIO MEDIO

Depósitos Lacustres.- Estos constituyen el relleno superficial de las pampas EJ. Imata y Pillones. Están representados por alternancias de capas arcillo-limoso, con arenas-limosas que forman capas de "Champa" cerca de la superficie con aspecto de Pantanos.

CUATERNARIO RECIENTE Y ACTUAL.-

Depósitos fluviales.- La acción, fluvial es muy restringida en la zona de estudio. Se limita a una terraza baja, constituida de cantos rodados con matriz arenosa en el curso actual de los valles de Bamputañe, Pillones y Cursos fluviales meandriiformes en la Pampa de Imata.

Conos de Deyección.- Estos materiales se ubican en la desembocadura de las Qdas. laterales. Un cono de deyección importante es el encontrado en la pampa de Imata, en la margen izquierda del río Colca, en donde forma un promontorio de clastos redondeados a subangulosos con matriz areno-limosa, que sirve de divortius actual de las cuencas de Colca y Sumbay.

3.2.0

ESTRUCTURAS

El macizo andino representa el levantamiento ocurrido en el Plioceno, cuya superficie ha sido nivelada por la erosión, la que ha llevado al altiplano a los niveles actuales.

El volcanismo considerado como la última serie de acontecimientos orogenéticos, fue el encargado de ensanchar y elevar el altiplano de manera que actualmente sus abras resulten unos 600- 900 m. más altos que las de la Cordillera Oriental.

Las intrusiones aunque presenten, no llegan a ejercer un papel preponderante en el altiplano.



Se trata, en conclusión de una región geosinclinal inestable como lo indica la sismicidad de la zona.

Los rasgos estructurales observables son la subhorizontalidad de las capas de tufos con algunas flexuras (pliegues) debido a fallas menores. La disyunción en placas es muy frecuente debido al diaclasamiento en diferentes direcciones de los derrames lávicos.

3.3.0

GEOMORFOLOGIA

Los rasgos geomorfológicos de la región, son los característicos de la intensa actividad volcánica, el volcanismo es el principal responsable de la morfología actual, habiendo también actuado como factor importante la orogénesis pliocena cuaternaria.

La geomorfología de la zona es el resultado de los siguientes eventos geomórficos.:

- a) Horizonte mesozoico plegado y fallado.
- b) Superficie Puna.
- c) Volcanismo Reciente.
- d) Glaciación.
- e) Drenaje y erosión actuales.

El relieve mesozoico y terciario fue sepultado por las erupciones volcánicas en forma de lavas y piroclásticos, modificando sustancialmente la morfología pre-existente, originando cuencas endorreicas que dieron lugar a la formación de lagunas cambiando así el drenaje natural de la región.

La actividad volcánica fue precedida por intensa actividad tectónica durante el mesozoico y parte del terciario, en donde existen afloramientos de esta edad encontramos que los estratos presentan pliegues y fallas que deben estar relacionados con la tectónica regional en donde se han evidenciado movimientos paralelos a la costa Pacífica con empujes NE-SW.

La acción glacial ha sucedido al volcanismo terciario superior y ha entallado los valles en sus nacientes e.j. Parle y Bamputañe, son características de su acción la morfología especial del valle y los materiales heterométricos que han acumulado en su avance y retroceso.



La acción lagunar se manifiesta en el relleno de las cuencas endorreicas, las que por desecación han formado las "Pampas Bel nivel Puna". Ej, Imata, Confital, Pillones.

La acción fluvial que observamos en la morfología de la región nos indica una actuación muy reciente, formando lechos a través de los materiales glaciares con anchura del orden de 30m. y con depósitos fluviales de terrazas bajas (inundación) ej. Bamputañe.

En las Pampas la acción fluvial se limita a cursos meandriformes que buscan su drenaje natural al sistema fluvial de las regiones bajas. Estos nos evidencia que las acciones fluviales más antiguas han sido sepultadas por procesos geomórficos más recientes (volcanismo tardío, glaciarios etc.)

IV.- GEOLOGIA APLICADA

4.1.0 Pampas de Imata (Laguna del Indio)

4.1.1 Descripción General.-

La Laguna del Indio se encuentra ubicada en la pampa de Imata llamada también Vincocaya, a unos 4,450 m.s.n.m.

Esta pampa se corresponde con el altiplano andino que caracteriza la parte sur de nuestra cordillera. La planicie presenta pendientes suaves con características de cuenca endorreica circundadas por cadenas de cerros de escasa altura en proceso de erosión final.

En el lugar denominado JANCOLACAYA, encontramos al Divortium de las cuencas de los ríos Colca y Sumbay. Este Divortium-Acuarium no es fácil de visualizar en el campo porque el relieve topográfico es casi nulo, la línea divisoria sigue la dirección E-W pasando por la cumbre de un cerro de poca altura denominado Huanacollo.

La Laguna del Indio es una laguna artificial que se formó debido a la construcción de un muro de retención que favorecido por las condiciones topográficas (depresión) e hidráulicas (Canal de Pañe) constituyen un reservorio.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



4.1.2

CLIMATOLOGIA

Se ha considerado en este capítulo el aspecto climatológico, debido a la influencia que ejerce, tanto en la laguna del Indio, así como en las características de la napa freática de la pampa. Además, la estación meteorológica de Imata nos permite obtener los datos climatológicos de la zona en forma directa sin tener que recurrir a correlaciones.;

Estadística correspondiente al año 1971 :

TEMPERATURA

Temperatura máxima absoluta más alta	16°5	29/11/71.
" " " " baja	11°0	15/03/71
Temperatura mínima absoluta más alta	-4°8	05/02/71
" " " bajo	-21°1	30/07/71

HUMEDAD

Humedad relativa media mas alta	78%	15/02/71
" " " " baja	34%	22/07/71

PRECIPITACION

Mes mas lluvioso.....	190.4mm.	Enero.
Mes menos lluvioso.....	0.5mm.	Julio.
Precipitación anual.....	562.0mm.	

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



4.1.3

GEOLOGIA GENERAL

En la pampa de Imata, las rocas florantes, son en su totalidad de origen volcánico. Encontramos derrames lávicos de naturaleza andesítica y una secuencia netamente piroclástica de tufos y aglomerados.

Estas secuencias constituyen el patrón estratigráfico de la zona.

4,1.3.1

ESTRATIGRAFIA Y ROCAS

La secuencia estratigráfica está ligada al volcanismo terciario - cuaternario.

Podemos diferenciar un volcanismo del terciario superior, cuaternario antiguo, constituido por derrames lávicos de naturaleza andesítica de color gris oscuro a gris claro con lectura porfídica en que se nota la orientación fluida de los granos.



Estos volcánicos constituyen los flancos de la Pampa de Imata y morfológicamente adoptan formas de cadenas de cerros de poca altura.

El volcanismo del cuaternario reciente está representado por depósitos piroclásticos de tufos y aglomerados de colores blanquecinos y amarillentos en general poco consolidados que alternan con materiales limo-volcánicos de aréniscas tufáceas e hidrocineritas. Estos materiales colmatan las zonas de pampas propiamente dichas.

Depósitos aluviales actuales encontramos en las nacientes de los ríos Colca y Sumbay en que erosionando sobre los tufos y aglomerados que rellenan las pampas han originado cursos fluviales meandriiformes depositando gravas y arenas con limos tufáceos en general inconsolidados.

4.1.3.2

ESTRUCTURAS

Los volcánicos de la zona no presentan rasgos estructurales de mayor significación.

Los derrames andesíticos se caracterizan por su estratificación en bancos horizontales a sub horizontales regularmente diaclasados.

Los tufos y aglomerados recientes presentan capas horizontales y no evidencian signos de mayor actividad tectónica posterior a su deposición.

4.1.4

GEOMORFOLOGIA

La evolución geomorfológica de la pampa de Imata está ligada a la tectónica del terciario superior y al volcanismo cuaternario.

El levantamiento andino a fines del terciario produjo la sobre elevación de las unidades existentes, originando una erosión intensa que formó nuevos valles y pampas.

La actividad volcánica del Cuaternario Antiguo representada por los derrames lávicos se ubicaron sobre una topografía en proceso de peneplanización, las cadenas de cerros originados por el volcanismo formaron cuencas locales endorreicas donde se instalaron por acción climática grandes lagunas que constituyeron cuencas de sedimentación de los



materiales piroclásticos alternando con sedimentos limno-volcánicos del cuaternario reciente.

La etapa actual de la evolución de las Pampas de Imata está relacionada con la erosión de los tufos y aglomerados recientes que forman hasta 2 niveles de erosión en la zona baja del valle por acción aluvial y por la presencia de cursos fluviales sinuosos con depósitos inconsolidados de gravas, arenas y limos - tufáceos que buscan la profundización de los valles como proceso actual de evolución.

4.1.5

4.1.5.1

HIDROGEOLOGIA

EXCAVACION DE PIZOMETROS Y CORTES LITOLÓGICOS

En la Pampa de Imata, utilizando el barreno, holandés se han excavado 70 piezómetros, los mismos que nos permitieron efectuar igual número de cortes litológicos (ver anexo N° 1).

La distribución de los piezómetros se han realizado teniendo en cuenta que la laguna del Indio se ubica en las proximidades de la divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Sumbay y Colca.

ZONA DE SUMBAY

Tomando como punto de partida el BM del Puente de Tamborga se trazó un reticulado con espaciamiento cada 200m. que nos permitió cubrir los sectores de la derecha e izquierda del canal Zamácola. Se han excavado 45 piezómetros en esta zona los cuales fueron ubicados y nivelados.

El estudio de los cortes litológicos nos indican la presencia de una napa freática alta, razón por la cual las excavaciones tiene profundidad máxima de 1.95m.

En general podemos decir que los cortes litológicos del suelo hasta alcanzar el nivel freático constan de :



- Capa superficial limosa con raíces poco descompuestas, esta capa tiene potencia de 0,20 - 0.40 m.
- Capa de arena de grano grueso a medio con algo de gravilla con raíces en proceso de oxidación, esta capa es permeable y tiene potencia de 0.30 - 0.50 m.
- Capa arcillosa de color negro y a veces marrón con buena proporción de raíces oxidadas con intercalaciones eventuales en su matriz de gravilla, arena y limo, esta capa es semipermeable a impermeable con potencia de 0.15 a 0.35m.
- Capa de gravilla con matiz de arena a veces con algo de limo, esta capa constituye el horizonte acuífero permeable, a más profundidad de esta capa no hemos podido excavar por las limitaciones del barrenado, por esta razón su potencia es desconocida.

El substratum del material detrítico inconsolidado no ha sido alcanzado por ninguna excavación, pero por las observaciones de superficie asumimos que deben ser tufos y aglomerados y/o derrames lávicos, Así tenemos que el canal de Zamácola en el Puente Visaccaca corta rocas lávicas andesíticas a una profundidad de unos 2m. del nivel de las Pampas, estas rocas andesíticas son la continuación sub superficial de las rocas que forman una colina en el flanco derecho del canal. Esto nos evidencia que el substratum rocoso en la pampa de Imata es irregular y que la potencia del material detrítico inconsolidado puede variar mucho en diferentes sectores de la Pampa.

ZONA DE COLCA

Tomando como punto de partida el BM 3 A ubicado en el talud derecho del canal Zamácola (Km. 66+200) y con dirección hacia el Dique de los Españoles, se trazó el eje de las excavaciones y en 3 columnas espaciadas más o menos 200m. se realizaron 7 excavaciones en cada una y siguiendo un eje lateral hacia el río Colca se hicieron 4 excavaciones, con un total de 25. Todas las excavaciones han sido ubicadas y niveladas.

Este sector presenta características distintas en cuanto a la relación cobertura detrítica-substratum rocoso con respecto a la zona de Sumbay.



No todas las excavaciones han constituido piezómetros. Tenemos 19 excavaciones con barreno holandés y/o tajo abierto en que hemos alcanzado la napa freática, 4 excavaciones a tajo abierto que han resultado secas y 2 excavaciones a tajo abierto en que alcanzamos una napa en carga alimentada por fisuras, a través de los tufos.

El estudio de los cortes litológicos nos indica la presencia de una napa freática alta en los piezómetros (C-1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 25) ubicados en el talweg natural que comunica la laguna del Indio con el río Colca.

El corte litológico generalizado de los piezómetros ubicados *en* el talweg, es el siguiente

- Capa limosa con raíces poco oxidadas con potencia de 0,20-0.40.
- Capa de gravilla con matriz de arena media y raíces oxidadas, material permeable con potencia de 0.15 -0.25m.
- Capa de ceniza volcánica (suelta con buena proporción de gravilla y algo de arena y raíces oxidadas este material es semi permeable, con potencia de 0.20- 0.35m.
- Capa de gravilla con matriz de arena de grano grueso a medio, material permeable con potencia de 0.25 -0.70m.

En algunas excavaciones encontramos el substratum rocoso constituido por tufos litificados a profundidades de 1.40 - 2.10m.

Las excavaciones a tajo abierto (C--10,13,16,19) nos confirmaron la existencia del substratum rocoso constituido por tufos líticos de color blanquecino, porosos e impermeables por litología, pero con cierta permeabilidad por fisuras, recubiertos por una delgada capa de 0.40m. de material fluvial proveniente del río Colca y constituida por grava bien redondeada a sub-redondeada de composición de derrames y tufos litificados con matriz limo-arenosa.



Las excavaciones a tajo abierto (C-4 y C-24) nos confirman la existencia en estos sectores de una napa en carga alimentada por fisuras a través de las rocas tufáceas.

4.1. 5. 2

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Para medir la conductividad hidráulica de los suelos en la pampa de Imata, se ha empleado el método de Auger Hole (VAN BEARS 1963)

Se realizaron 7 pruebas en diferentes lugares del área estudiada. En cada lugar se aprovecharon los piezómetros ya excavados.

En cada perforación se midió la velocidad de recuperación de nivel de agua inmediatamente después de extraerles cierta cantidad de agua y siguiendo el procedimiento indicado en el método se calculó la conductividad hidráulica.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA EN LA PAMPA DE IMATA

ZONA DE SUMBAY

1 - 7	K = 0.01 m/día - Prof. 1.10 m.
1- 21	K = 0.05 m/día - Prof. 1.50m.
1-26	K = 0.02 m/día- Prof . 1.00 m.
1-41	K = 0.01 m/día- Prof . 0.70 m,

ZONA DE COLCA

C - 3	K=0.0101 m/día - Prof. 0.50 m.
C - 11	K= 0.01 m/día - Prof. 1.20 m.
C - 21	K= 0.04 m/día - Prof. 0.80 m.

El análisis de los resultados permite obtener las siguientes conclusiones:

- En el subsuelo, la conductividad hidráulica de la capa situada entre 1 y 1.50m, es ligeramente, más alta que en las capas superiores.
- En toda el área la conductividad hidráulica es del rango de 0.1- 0.5 m/día que corresponde a permeabilidad muy lenta a lenta.



c) Las capas del suelo menos permeable, encima de las capas de suelo más permeables, no permiten un flujo horizontal intensivo, sin embargo el flujo vertical aumenta por los poros producidos por filas raíces, manifestando una recarga propia de zonas pantenosas.

4.1.5.3

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN mnhos/cm. a 25°C DE LAS MUESTRAS DE AGUA

Para el análisis respectivo se recolectaron 15 muestras de agua de los piezómetros, seleccionándolos de tal manera que estuvieran bien distribuidos a fin de permitir una interpretación integral de la zona.

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

<u>ZONA DE SUMBAY- 2</u>	C.E. = 0.200 mnhos/cm.
I - 6	C.E. = 0.290 mnhos/cm.
I - 11	C.E. = 0.210 mnhos/cm.
I - 19	C.E. = 0.085 mnhos/cm.
I - 21	C.E. = 0.050 mnhos/cm.
I - 23	C.E. = 0.120 mnhos/cm.
I - 29	C.E. = 0.110 mnhos/cm.
I - 31	C.E. = 0.140 mnhos/cm.
I - 42	C.E. = 0.160 mnhos/cm.
I - 45	C.E. = 0.220 mnhos/cm.

ZONA DE COLCA

C - 2 :	C.E. = 0.250 mnhos/cm.
C - 4 :	C.E. = 0.100 mnhos/cm.
C - 12:	C.E. = 0.150 mnhos/cm.
C - 21:	C.E. = 0.230 mnhos/cm.
C - 24 :	C.E. = 0.050 mnhos/cm.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



Estos resultados nos hicieron desistir de un análisis químico más detallado, porque de acuerdo a la clasificación de las aguas según el Laboratorio de Salinidad de los EE.UU. de N.A. los tenores de conductividad eléctrica en todas las muestras analizadas indican salinidad baja, de excelentes a buenos para riego, y usos potables.

Se puede notar sin embargo, que hay cierto aumento de salinidad en los piezómetros ubicados cerca de La Laguna del Indio, esto se explica porque en este sector la napa freática es más alta y está sometida a las fluctuaciones del nivel de la Laguna.

La Baja Conductividad eléctrica de las aguas nos permite afirmar que se trata de aguas meteóricas locales infiltradas a poca profundidad y que las recargas a partir de los tufos en la: zona de Colca indican una alimentación por fisuras sub-superficiales con recorridos de poca distancia hacia su nivel de base (depresiones, talvez, lagunas etc.) sumado todo esto a las condiciones climáticas en que predomina la meteorización física sobre la química.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



4.1.5.4

CURVAS ISOPIEZOMETRICAS

Con las mediciones del Nivel Estático en los Piezómetros, que fueron previamente ubicados y nivelados se procedió a la elaboración de los planos con curvas isopiezométricas.

Los planos grafican la topografía de la superficie piezométrica de las napas acuíferas que están fijadas por los niveles de alimentación y de drenaje.

Por razones hidrogeológicas relacionadas con características propias de alimentación y drenaje, hemos determinado dos zonas hidrogeológicas en las Pampas de Imata en relación con la Laguna del Indio.

CURVAS ISOPIEZOMETRICAS EN LA ZONA DE SUMBAY

El plano con curvas isopiezométricas en la zona del Sumbay nos permite determinar que :



- La Profundidad de la napa acuífera con relación al nivel del suelo es mayor en el sector Sur y fluctuante en el Sector Central y disminuye ligeramente en el Sector Norte.
- La Dirección de escorrentía Subterránea es variable, pero en general siempre hacia la Laguna del Indio. Así en el Sector Norte es W-E, y en el Sector Central con curvas cerradas convergentes y divergentes y en el Sector Sur la dirección de escorrentía es sensiblemente SW-NE.
- El gradiente hidráulica es en general baja con ligeras variantes según los sectores, En el sector Norte de 4 por mil, en el Sector Central fluctuante entre 2 y 1 por mil y en el Sector Sur de 1 - por mil.
- La forma de la superficie piezométrica y las observaciones de campo, permiten clasificar a la napa en la zona del río Sumbay como napa libre o freática.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



INTERPRETACION GLOBAL DE LA NAPA FREATICA DE LA ZONA DEL SUMBAY

La Pampa de Imata, en la zona del Sumbay, (alW de la Laguna del Indio) es una planicie rellena por depósitos continentales cuaternarios: limosos arenas, arcillas, y gravillas que encierran una napa acuífera libre.

El examen de las curvas isopiezométricas permite delimitar tres estructuras principales, descomponiendo así la superficie piezométrica en tres sectores que representan cada una, una unidad hidrogeológica. La interpretación de cada tipo estructuras servirá para explicar los grandes rasgos de la circulación de las aguas subterráneas en la región estudiada.

EL SECTOR NORTE presenta curvas isopiezométricas estrechas con concavidad hacia aguas arriba. La profundidad de la superficie piezométrica es del orden de 0.40 - 0.70m. con gradiente hidráulica del orden de 40%. El estudio de esta estructura nos muestra que ella traduce una napa libre con filetes divergentes. Por los estudios realizados interpretamos que la forma de lá napa es debida en gran medida a la permeabilidad que es débil y que debe haber alimentación lateral por fisuras a través de los macizos rocosos, señalada por las curvas que tiende a



devenir paralelos a los relieves. En esta zona el drenaje natural debe ser más débil que su alimentación de allí la formación de tramos pantanosos.

EL SECTOR CENTRAL.- presenta características netamente diferentes, acá encontramos curvas cercadas que se traducen en una protuberancia y en una depresión.

La protuberancia está constituida por curvas isopiezométricas. Interpretamos esta anomalía como debida a un tramo de mayor permeabilidad y posiblemente relacionada con alimentación por fisuras en el contacto con el substratum rocoso.

La depresión también tiene curvas cerradas, acá el espaciamento de las curvas es mayor que en la protuberancia y lo que nos indica un gradiente hidráulico menor. Esta depresión de la superficie piezométrica la interpretamos como un tramo de menor permeabilidad sin posibilidades de mayor alimentación a través del substratum rocoso.

EL SECTOR SUR.- presenta características mas estables, el relieve de la superficie piezométrica es menos acentuada, el espaciamento de las curvas es mayor y el gradiente hidráulico es del orden de 1%, las curvas son mas o menos regulares y mantienen una dirección de escorrentía SE-N.E. Las condiciones de permeabilidad son débiles pero homogéneas para este sector, de otro lado su alejamiento de los relieves rocosos disminuye la influencia de la alimentación lateral y origina que este sector presente una napa mas regular.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS EN LA ZONA DEL COLCA .- Las excavaciones realizadas con el barreno holandés y, a tajo abierto, las mediciones de nivel estático y las observaciones de campo, nos lleva a concluir que esta zona presenta características hidrogeológicas particulares que no permiten elaborar un plano con curvas isopiezométricas, debido a que en este lugar hay superposición de dos napas : una libre ocupando como acuífero los delgados materiales inconsolidados y otra napa a presión circulando por fisuras en las rocas tufáceas que afloran en muchos tramos y en otros está a poca profundidad como lo demuestran las excavaciones.

Entre la laguna del Indio y el río Colca existe un talweg natural que drena las aguas superficiales y subterráneas, este talweg está erosionado en, materiales lagunales y aluviales inconsolidados no es uniforme y así vemos en varios tramos que el talweg pone al descubierto rocas tufáceas.

Por un lado, se producen filtraciones desde la laguna del Indio hacia el talweg saturando el delgado acuífero y circulando hacia el río Colca; mientras que en la margen derecha del talweg constituida por rocas tufáceas con cobertura delgada de gravas fluviales, vemos que al contacto de las rocas tufáceas con el nivel del talweg,



emergencias de agua a presión que alimentan también al talweg, esta alimentación por fisuras tiene características propias en cuanto a la magnitud de sus caudales, así tenemos que existen numerosos sitios en que aflora la roca tufácea al nivel de la pampa y se observa claramente la alimentación por fisuras que originan burbujas sobre el manto freático con caudales que podemos considerar insignificantes, mientras que al excavar el pozo C-24 encontramos una vena de agua con nivel inicial a 0.75 m. de profundidad y al poco rato el nivel de agua se elevó y rebosó al nivel del suelo, haciéndose artesiano con caudal estimado de 1 l/seg. y a cota mas alta que el talweg. Esto nos evidencia que la circulación por fisuras en las rocas tufáceas se presenta: con emergencias a niveles superficial y sub superficial y que pueden, producirse en cualquier lugar de la zona cuando las relaciones del contacto roca tufácea- cobertura inconsolidada sean favorables.

4.1.5.5

BALANCE HIDROGEOLOGICO

Es el objeto de todo estudio hidrogeológico hacer una recapitulación de las posibilidades acuíferas. Es un hecho reconocido, que el balance es difícil de establecer, sobre todo al término de un solo estudio y examen del primer inventario de recursos hídricos subterráneos. De hecho, estos resultados y los más importantes para la economía, no pueden aprovecharse en la realidad sino después de una serie de trabajos sostenidos en años consecutivos.

TERRENOS ACUIFEROS

En la zona del Sumbay los terrenos son los materiales detríticos inconsolidados de deposición lagunar y aluvial que colmatan la Pampa de Imata. El máximo espesor de los terrenos acuíferos no se ha determinado por perforación pero sobrepasa los 3m. sin alcanzar el basamento.

En la zona de Colca el acuífero lo constituyen tanto los materiales inconsolidados como las rocas tufáceas que por su fisuración permiten la circulación de aguas, la potencia de los materiales detríticos inconsolidados es del orden de 0.50 - 2.50m.

SUBSTRATUM DE LA NAPA

En la zona del Sumbay los ^{depósitos} inconsolidados deben reposar sobre las rocas tufceas y/o derrames lávicos, estas rocas a pesar de su fisuración las consideramos como el substratum de la napa porque no permiten la infiltración en profundidad de las **aguas** meteóricas que caen en la zona, asumimos que la formación tufácea debe tener debajo de los estratos fisurados, capas impermeables casi sin fisuración, lo que permite la existencia de la napa acuífera subsuperficial.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



En la zona del Colca el substratum de la napa libre lo constituyen las rocas tufáceas, estas rocas son impermeables por su composición y permeables por fisuración, asumimos como en el caso anterior que debajo de las capas tufáceas fisuradas deben existir estratos impermeables que impiden la infiltración a mayor profundidad.

ALIMENTACION DE LA NAPA

La alimentación de la napa en la zona del Sumbay se debe gran medida a las precipitaciones fluviales y niveles que se producen durante 3^o 4 meses del año. Como la escorrentía superficial es muy lenta debido a la topografía casi plana de la pampa se produce una lenta infiltración en los terrenos acuíferos, Otra fuente de alimentación puede estar relacionada a la circulación por fisuras en los estratos superiores de las formaciones rocosas que tienen estratificación subhorizontal y que pueden ser alimentadas lateralmente por cursos de agua(río Sumbay, quebradas laterales) y que a través de las fisuras emergen al contacto con los terrenos detríticos inconsolidados.

En la zona de Colca si está probada la alimentación directa a partir de las aguas superficiales (Laguna del Indio), lluvias, nieves) y la alimentación indirecta por fisura a través de las rocas tufáceas que en sus estratos subhorizontales superiores están alimentados lateralmente por el Río Colca.

CIRCULACION DE LA NAPA

En la zona de Sumbay la napa tiene dirección general es SW-NE variando a la dirección W-E. El gradiente hidráulico es bajo fluctuando entre 4 y 1%.

En la zona del Colca, la napa libre sigue la dirección del talweg natural con dirección general S-N.

NIVEL DE BASE

En la zona de Sumbay el nivel de base de la napa lo constituye la laguna del Indio que es la cuenca receptora de la napa freática que circula en la pampa en el sector Sur de la Laguna.



En la zona de Colca, al contrario la laguna del Indio alimenta en parte a la napa que se ubica en las inmediaciones de talweg que desagua en el río, constituyéndose al río Colca en el nivel de base de la napa de esta zona.

EXPLOTACION DE LA NAPA

Esta napa no es explotada y por condiciones de yacencia: escasa potencia del material acuífero conductividad hidráulica lenta a muy lenta y pobre caudal de las emergencias en las rocas tufáceas . Creemos que esta napa sub superficial no reúne las condiciones de acuífero explotable.

Los grandes caudales deben estar infiltrados a gran profundidad y relacionados con estructuras geológicas de primer orden, esto explica que agua abajo de la cuenca alta de los ríos Colca y Sumbay emergen caudales importantes que recargan los cursos de agua en sus tramos inferiores.

4.2.0

EMBALSE DE PILLONES

4.2.1

EL VASO

4.2.1.1

ESTRATIGRAFIA Y ROCAS

Toda el área de interés para el embalse de Pillones está ubicada dentro de una región que ha sufrido intenso volcanismo, de allí que todas las rocas aflorantes sean volcánicas y de edad terciario Superior- Cuaternario Inferior, distinguiéndose en orden de secuencia de lo más antiguo a lo más reciente.

DERRAME LAVICOS Estos no se encuentran muy desarrollados en la zona, si consideramos que nuestro estudio se centra en el vaso, hasta unos 50m. arriba del nivel del fondo del valle, generalmente ocupan la morfología de colinas y cadenas de cerros de poca altura, la composición de los derrames es básica predominando los andesitos porfíricos vitrofídicas de color gris claro a verdoso con efectos de intemperización.



Cuando se presenta en mantos homogéneos estas rocas presentan buenas condiciones mecánicas e hidráulicas pero en este lugar anotamos la presencia de capas escoriáceas poco consolidadas en alternancias con los derrames, lo que disminuye en mucho las propiedades ingenierales del conjunto.

TUFOS Y AGLOMERADOS

En el vaso de Pillones encontramos una secuencia de tufos blanquecinos y blandos intercalados con aglomerados de color rosado bastante litificados, esta secuencia constituyen los flancos del vaso a ser interesados por el embalse.

Los tufos y aglomerados son materiales piroclásticos depositados por las explosiones volcánicas.

Los tufos son en general vidriosos de colores blanquecinos poco litificados y con estratificación en capas subhorizontales, son livianos, y porosos y regularmente resistentes, su permeabilidad puede ser macroscópica por porosidad y microscópica por fisuración.

Los aglomerados en Pillones parecen ser una mezcla de productos de explosión con frentes de avances tardío de derrames lávicos el cual en su camino engloba los materiales que encuentra a su paso, estas rocas están bien litificadas pero son heterogéneas, la frecuente diversidad de composición entre fragmentos englobados y cemento pueden originar un distinto comportamiento mecánico, estas rocas son permeables por fisuración.

DEPOSITO LIMNO-VOLCANICOS

Aguas abajo de la sección de cierre y en el flanco derecho, encontramos una secuencia de tufos blancos y arenosos tufáceos de color verde claro, estos materiales depositados en ambiente lagunar por su posición estratigráfica parecen ser coetáneos de los tufos y aglomerados.

Estos materiales tienen pésimas propiedades ingenierales. Su consolidación nunca es suficiente para permitir fundaciones y su impermeabilidad aceptable cuando las capas son finas se vuelve nula en capas de elevada granulometría como las areniscas tufáceas.



4.2.1.2

ESTRUCTURAS

Las características estructurales de la zona es la sub horizontalidad de las capas de tufos y aglomerados que presentan gruesas juntas columnares perpendiculares a los planos de estratificación.

La sismicidad de la región parece no ha afectado mayormente a las rocas de tufos y aglomerados, apareciéndose cierto flexuramiento en los depósitos limno-volcánicos que son rocas poco consolidadas

4.2.1.3

GEOMORFOLOGIA

El reservorio de Pillones está situado en el río del mismo nombre a unos 23 KM. al Norte del poblado de Imata.

El vaso tiene forma de L con rumbos NW y NE respectivamente. El relieve es de suaves pendientes, con morfología de lomas de gran extensión constituidas por rocas piroclásticas en su mayor parte.

El flanco derecho está constituido por tufos y aglomerados, con predominancia de tufos que son porosos y poco litificados, estos tufos tienen espesores de más de 20m., alternando con aglomerados bien litificados, duros y más resistentes que los tufos al intemperismo, los aglomerados se presentan en capas de 1 a 3 m. de potencia.

El flanco izquierdo está representado por la misma secuencia de tufos y aglomerados, pero acá el espesor de los aglomerados es de 4 a 10m. pero siempre con predominancia de los tufos.

El fondo del valle es bastante plano constituido en superficie por materiales aluvionales de arcilla, arcilla-arenosa, limos, arenas y gravilla. El épocas de lluvia el río desborda su cauce natural que es poco profundo (0.50m). y colmata el Valle plano con materiales finos constituyendo una terraza de inundación.



El valle inicialmente colmatado por depósitos limno-volcánicos ha sido posteriormente erosionado por las aguas de lluvia que han formado cursos fluviales que están erosionando su lecho actual y depositando sedimentos en épocas de crecida, constituyendo actualmente un ciclo fluvial en la zona.

4.2.1.4

ESTABILIDAD DE TALUDES

Las condiciones geomorfológicas del vaso nos indica que no deben presentarse mayores problemas en referencia a la estabilidad de taludes. Las vertientes tienen inclinación orden de 8 a 22° que son aceptables y las capas rocosas tienen a veces cobertura detrítica de talud constituida de fragmentos angulosos con tamaño entre 5 y 15 cms. de largo con matriz de ceniza y arena tufácea de poco espesor, notándose que la roca está aflorante en casi todo el flanco. Además la cuenca del río Pillones es muy pequeña (54 Km².) y no se prevén arroyeos importantes por las Qdas. laterales.

4.2.1.5

IMPERMEABILIDAD DEL VASO

Las condiciones de impermeabilidad del fondo del valle parecen buenas y las pruebas de conductividad hidráulica en la terraza de inundación dan valores de $K = 0.08$ m/día que corresponden a permeabilidad de lenta. Faltaría determinar la potencia de esta capa y su distribución en todo el fondo del valle para confirmar esta apreciación inicial.

En las laderas que serán afectadas por el nivel del embalse, la disposición de las rocas piroclásticas en capas subhorizontales pueden producir vías preferenciales de circulación de aguas a través de los planes de contacto y su fisuración.

4.2.2

ZONA DE CIERRE

La zona de cierre se ubica en un estrechamiento del valle del río Pillones, de unos 500 m. de longitud y 400 m. de ancho en promedio.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



La zona de la boquilla se identifica con los tufos y aglomerados que constituyen la roca de base y afloran en ambos flancos, el estrechamiento es debido a la erosión del valle por acción de los cursos de agua.

La zona de cierre es simétrica desde el punto de vista topográfico y geológico.

4.2.2.1

ESTRIBO DERECHO

Este estribo tiene potencia de unos 70m. con inclinación de 11° con respecto al cauce del río.

Está constituido en su parte baja y media por tufos de color blanquecino, poco litificados que incluyen a veces fragmentos del tamaño de gravillas, en superficie aparecen bastantes alterados, notándose en las trincheras existentes que la consolidación de los tufos mejora en profundidad. Estos materiales son porosos, livianos, regularmente diaclasados, con posición subhorizontal de los estratos.

En la parte alta del flanco encontramos una alternancia de aglomerados bastante litificados que presentan estructuras tableada y diaclasamiento irregular que permite disyunción en fragmentos gruesos.

La cobertura de detritos de talud es poco importante del orden de 0.50 - 1.00m., constituida de clastos angulosos de tufos y aglomerados con matriz tufácea de fácil remoción.

4.2.2.2

ESTRIBO IZQUIERDO

Este estribo tiene potencia mayor de 100m. con inclinación de 7° con respecto al cauce del río.

Sus condiciones geológicas son semejantes a las descritas para el estribo derecho.

4.2.2.3

ZONA ENTRE ESTRIBOS

Este tramo tiene topografía plana y constituida por depósitos fluviales (terrazza de inundación, depósitos de lecho mayor) del río Pillones.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



La sección de cierre elegida por la Cía. Panedille Peruana S.A. nos parece la más conveniente y siguiendo el eje de cierre hemos efectuado una prospección sumaria del subsuelo en la zona entre estribos, utilizando el barreno holandés para realizar 6 excavaciones, cuya descripción litológica es la siguiente :

POZO P-1

Profundidad : 1.62 m.
N.E. = 1.27m. 26/8/72

CORTE LITOLOGICO

0.00-0.20 m. Limo con algo de arena y arcilla.
0.20 - 0.50 m. Limo con ceniza volcánica y arcilla.
0.20 -0.80 m. Arcilla con ceniza volcánica, con oxidaciones y algunas gravillas. 0.80
0.80 - 1.35 m. Arcilla rojiza con materia orgánica descompuesta.
1.35 - 1.62 m. Gravilla con matriz arenosa.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



POZO P-2

Profundidad : 1.15m.
N.E. = 0.57m. 26/8/72.

CORTE LITOLOGICO

0.00 - 0.60 m. Arena gruesa con gravilla.
0.60 - 1.15 m. Gravilla con matriz de arena y arcilla.

POZO P - 3

Profundidad : 0.90 m.
N.E. = 0.74m. 26/8/72

CORTE LITOLOGICO

0.00 - 0.20 m. Limo con arena fina.
0.20 - 0.69 m. Arcilla con algo de arena y gravilla.
0.69 - 0.75 m. Arena media con gravilla.
0.75 - 0.90 m. Gravilla con arena gruesa.

POZO P-4

Profundidad : 0.45 m.
N.E. 0.17 m. 26/8/72



CORTE LITOLÓGICO

0.00 - 0.20 m. Arena fina con limo y algo de arcilla.

0.20 - 0.45 m. Gravilla con matriz arenosa.

POZO P-5

Profundidad : 0.89 m.

N.E. = 0.73m. 26/8/72

CORTE LITOLÓGICO

0.00 - 0.20 m. Limo con algo de gravillas.

0,20 - 0.53 m. Arena media con regular proporción de arcilla.

0.53 - 0.70 m. Arena de grano grueso a media.

0.70 - 0.36 m. Gravilla con matriz de arena gruesa.

Los cortes litológicos de las excavaciones nos permiten determinar que las capas superficiales de la zona entre estribos de la sección de cierre está constituida por materiales fluviales con predominancia de arcillas, limos y arenas con poca proporción de gravillas.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

En todas las excavaciones hemos encontrado una napa freática subsuperficial. Las pruebas de conductividad hidráulica en los pozos P-2 y P-5 dan valores de $K=0.04$ y $K. = 0.08$ m/día que corresponden a permeabilidad lenta. Esto nos indica que a pesar de que la cuenca es pequeña, la alimentación de la napa a partir de las precipitaciones fluviales y nivales permite una napa alta aún en época de estiaje, debido a la débil permeabilidad del suelo y a la casi plana topografía del fondo del valle, de otro lado no deben esperarse caudales importantes en esta napa.

La presencia de una napa alta ha impedido que la prospección del subsuelo mediante el barrenos holandés alcance mayores profundidades, sin embargo, por la geomorfología del valle y la conductividad hidráulica de la napa se puede inferir que debajo de las capas de material fluvial deben haber capas impermeables de deposición lagunar hasta su contacto con la formación rocosa del tufos.



4.2.2.4

CARACTERISTICAS DE LA PRESA

De acuerdo con las curvas de áreas y volúmenes y del levantamiento topográfico de la sección de cierre, tenemos las siguientes características de la Presa.

Las pérdidas por evaporación las consideramos de 1 m/año.

- a) Para una altura de Presa de 22 m. (cota 4, 372)
- Longitud de la base = 420 m.
 - Longitud de Coronación = 730 m.
 - Volumen almacenable = 59'000.000 m3.
 - Pérdidas por evaporación = 5'650,000 m3.
 - Volumen Util = 53'350,000 m3.

- b) Para una altura de Presa de 28m. (Cota 4,378)

- Longitud de la base = 420 m.
- Longitud de la coronación = 850 m.
- Volumen almacenable = 100'000.000 m3'
- Pérdida de Evaporación = 7'550,000 m3.
- Volumen Util = 92'450,000 m3.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

Tomando en consideración las características geológicas, geomorfológicas y topográficas de la boquilla se llega a la conclusión de que la estructura de cierre más conveniente es una presa de tierra.



4.2.3

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Si consideramos que la obra de cierre para almacenar un volumen de agua de 90-100 millones de m3. sea una presa de tierra, de 26-28 m. de altura con unos 800m. de longitud en la coronación y unos 400m. en la base, serían necesarios una cantidad de tierra del orden de 1'700,000 m3. de los cuales por lo menos 350 serán m3. serán de arcilla (en el caso que se proyecte un núcleo impermeable).

Como material de terraplén se puede utilizar el material de relleno superficial del piso del valle, por los cortes litológicos de las excavaciones sabemos que está constituido por arcillas, limos, arenas



y gravillas mezcladas, que en conjunto son materiales semi-permeables a impermeables, las canteras de estos materiales deben ubicarse aguas abajo de la presa para no interferir con las condiciones de sellado del vaso.

Materiales de gran impermeabilidad, para el núcleo de arcilla, no son abundantes en superficie, por los estudios realizados constatamos la existencia cerca de la superficie a profundidades de 0.50-0.80m. del piso del valle, de capas de arcillas de 0.200.40m. de potencia que requerirán de un estudio de detalle, mediante excavaciones, para determinar su extensión, profundidad, potencia y calidad.

Arenas de grano grueso a medio pueden ser obtenidas del cauce del río, aguas abajo del eje de la presa, por ser el cauce de débil pendiente, las arenas tienen cierta cantidad de limo. Para obtener arenas-limpias será necesario su lavado.

Material de bloques de roca, para la protección de la presa, deberán ser obtenidos de canteras de rocas básicas (andesitas), estas rocas se encuentran en los flancos del valle. Estudios más detallados de su extensión y calidad nos proporcionarán la ubicación exacta de estas canteras.

4.3.0

4.3.1

4.3.1.1

EMBALSE DE BAMPUTAÑE

EL VASO

ESTRATIGRAFIA Y ROCAS

La cuenca alta del río Bamputañe se ubica dentro de una región en que las acciones glaciarias con sus fases de erosión, transporte y sedimentación han producido los eventos más importantes de la geología actual del valle.

La columna estratigráfica de lo más antiguos a lo más moderno es la siguiente :

TERCIARIO SUPERIOR

El basamento del embalse de Bamputañe lo constituyen rocas volcánicas de derrame. Estas rocas son andesitas de coloración gris oscura, de textura porfídica, masivas y duras.



Las andesitas afloran en la cabecera del valle en donde se forman el circo glaciar y se continúan por el flanco izquierdo donde aparecen esporádicamente adoptando morfología de colinas que sobresalen como elevaciones en el valle.

CUATERNARIO ANTIGUO

Representado por los depósitos glaciares que son del tipo de "morrenas" que se ha formado a lo largo y frente de las márgenes del glaciar, con los materiales que han proporcionado el circo y las laderas del valle, mediante la exaración, aludes y otros tipos del avance glaciar.

El depósito acumulado por el hielo es un till arcilloso con limo y arena englobando fragmentos angulosos a subredondeados del tamaño de gravas, piedras y bloque, sin selección de tamaños y sin indicios de estratificación. No hay heterogeneidad litológica y mineralógica muy acentuadas debido a que la roca de base son todas andesitas, sin embargo en los alrededores del pueblo de Bamputañe encontramos grandes bloques erráticos de cuarcita esto nos señala que ha habido aportes glaciares de la cuenca vecina que comunica con el flanco izquierdo del valle.

Los depósitos glaciares tienen amplia distribución en el valle y prácticamente ocupan la totalidad de los flancos y la boquilla del embalse proyectado.

CUATERNARIO MEDIO

Representado por depósitos lacustres que ocupan la zona plana del fondo del valle. Estos depósitos constan de capas alternadas de arcillas y limos con algo de arena mezclados con materia orgánica de óxidos de Fe.

Su distribución en la zona de estudio se circunscribe a las pequeñas lagunas : actuales y extintas que se encuentran en la cuenca.

AUTORIDAD



CUATERNARIO RECIENTE Y ACTUAL

Depósitos de Escombros de Talud

Al pié de las vertientes en los flancos y cabecera del valle, encontramos fragmentos y bloques angulosos englobados en una matriz limno-arenosa, los clastos son en su mayoría de composición andesítica.

Estos depósitos no están muy extendidos en la zona y se circunscriben al sector del circo glaciar y en las laderas del flanco izquierdo donde afloran los derrames volcánicos

Depósitos Fluviales.-

La acción fluvial se limita al curso actual del río Bamputañe que ha erosionado con morfología de "Cañón" la boquilla del embalse. El ciclo fluvial está poco desarrollado y se limita a un lecho mayor en que ha depositado gravas subredondeadas de composición andesítica con matriz de arena.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



4.3.1.2

ESTRUCTURAS

En el valle de Bamputañe la característica estructural más importante en las rocas es su diaclasamiento. Así vemos que los andesitas presentan diaclasas irregulares en diferentes direcciones.

Es así que la tectónica prepara a las rocas para su transporte por la erosión. Los estudios de campo indican que la alteración no interviene sino en forma secundaria y de una manera subsidiaria, la presencia de las andesitas en su mayoría frescas, así lo confirman.

4.3.1.3

GEOMORFOLOGIA

El reservorio de Bamputañe presenta los rasgos geomorfológicos de la glaciación cuaternaria que ha modelado el relieve y acumulado los productos de su trabajo glacial de manera inconfundible, en que el fondo y flancos del valle están caracterizados por lomas y depresiones



caóticamente distribuidas.

Se trata de un valle glaciar clásico que se inicia en un circo glaciario y se continua con un valle de perfil longitudinal con dirección NE hasta un estrechamiento de ambos flancos a unos 6 K,ms. aguas abajo del piso del circo.

Los depósitos glaciarios son del tipo de morrenas laterales y terminal, estos materiales sin selección de tamaño, tienen potencia mayor de 50m. y una morrena lateral separa los valles de Bamputañe y Pañe.

La evolución geomorfológica del valle la resumimos en la siguiente forma.

- a) Roca de base constituida por los derrames lávicos.
- b) Glaciación que originó la erosión actual del valle.
- c) Deposición de las morrenas por el retroceso glaciar.
- d) Evolución del valle en Lagunas.
- e) Ciclo fluvial.

Con el retroceso del glaciar tenemos una morfología de valle longitudinal con escalones sucesivos y es por ello que el paisaje post-glaciar nos muestra lagunas en las depresiones a diferentes cotas.

El ciclo fluvial es incipiente, no se nota evolución de crecidas grandes, se observa que las lagunas han buscado su salida natural erosionando lentamente. La capacidad de transporte del ciclo fluvial actual es poco importante, notándose que sólo puede transportar materiales hasta la granulometría de gravas, en el cauce mayor del río existen numerosos bloques que no pueden ser movilizados.

Actualmente las condiciones climáticas permiten, a parte de la acción fluvial descrita, un débil arroyo por las quebradas laterales, formación de lagunas

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



estacionales y limitada acción eólica que erosionan débilmente los depósitos morrénicos.

4.3.1.4

ESTABILIDAD DE TALUDES

En los flancos del vaso los materiales que van a ser interesados por el embalse son los depósitos glaciarios (morrenas), estos materiales son en general homogéneos en sus propiedades ingenieriles; buena densidad y poco permeable.

Las laderas tienen pendientes que varían entre 12 y 5°, lo que consideramos aceptable, en algunos tramos hallamos detritos de talud de poco espesor que no presentan mayores problemas en caso de ser removidos por el agua. De otro lado, los afloramientos volcánicos que se ubican en las partes altas del flanco izquierdo, presentan pendientes más o menos uniformes y no muestran paredes verticales o cornizas en la cima que puedan representar peligros potenciales de deslizamientos.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

En resumen, las condiciones de estabilidad de los flancos del vaso, de Bamputañe, son favorables.



4.3.1.5

IMPERMEABILIDAD DEL VASO

El embalse de Bamputañe presenta buenas condiciones de sellado.

El fondo plano del valle está cubierto en su mayor parte por materiales lacustres impermeables que suprayacen a los depósitos morrénicos que son semi-permeables a impermeables.

En el piso del vaso hemos realizado algunas excavaciones con barreno holandés para determinar la constitución litológica de las capas sub superficiales. Todas las excavaciones mostraron perfiles litológicos semejantes, por lo que describiremos solamente el obtenido en el Pozo B-4 que sirvió para realizar la Prueba de Conductividad Hidráulica.

POZO B-4

Profundidad : 1.52 m.

N.E. = 0.67 m. 8/11/72



CORTE LITOLÓGICO

0.00 - 0.32 m. Limo-arenoso de color marrón rojizo con raíces descompuestas.

0.32 - 0.75 m. Arcilla color beige con oxidaciones.

0.75 - 0.85 m. Arcilla con buena proporción de óxidos de Fe y algo de arena gruesa.

0.85 - 1.10 m. Arcilla de color beige con Oxidaciones.

1.10 - 1.52 m. Arcilla con arena fina de color plomo, saturada de agua.

Se realizó la prueba de Conductividad Hidráulica por el método de Van Beers, dando por resultado $K = 0.025$ m/día que establece su característica de prácticamente impermeable.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

La altura de embalse proyectado no cubrirá rocas, el nivel de máximo embalse se apoyará en los depósitos morrénicos que son materiales poco permeables a impermeables, de allí que no deben presentarse problemas de fugas de agua a otras cuencas.



4.3.2

ZONA DE CIERRE

La zona de cierre está constituida por depósitos morrénicos en ambos estribos, con el sector entre estribos erosionado por acción fluvial que origina un estrechamiento de unos 500 m. de longitud, con ancho promedio de 25m.

Los estribos son simétricos con pendientes del orden de 11° respecto al cauce, los materiales morrénicos están constituidos por fragmentos angulosos a sub redondeados de diferentes tamaños desde grava hasta bloques, poco alterados y con predominación en su composición de andesitas, englobados en una matriz limo-arcillo-arenosa. En conjunto estos materiales están regularmente consolidados y son poco permeables, como lo evidencian las numerosas lagunitas estacionales que se instalan en las depresiones.



En el estribo derecho existe un talweg natural a cota conveniente que desemboca a unos 300 m. aguas abajo del río Bamputañe, este talweg puede ser utilizado como aliviadero.

El sector entre estribos está constituido por el lecho mayor del río Bamputañe que tiene una anchura de unos 25m. El ciclo fluvial ha erosionado en cañón a los depósitos morrénicos, lo que nos indica por una parte de la resistencia a la erosión que presentan las morrenas y por otra, que el ciclo fluvial es de actuación muy reciente y de caudales reducidos que no han permitido una mayor erosión lateral y profundización de su cauce, La potencia del material fluvial debe ser bastante pobre del orden de 2 a 4 m. estimado.

4.3.2.1

CARACTERISTICA DE LA PRESA.

Se ha trazado dos posibles ejes de cierre, para determinar las siguientes características de la presa.

Se considera que las pérdidas por evaporación son del orden de 1.2 m./año.

- 1) Eje de Cierre A-A'
Para una altura de Presa de 30m.
Longitud de la base = 25 m.
Longitud de Coronación = 585 m.
Volumen Almacenable = 35'000,000 m3.
Pérdidas por evaporación = 8'400,000 m3.
Volumen Util = 26'600,000 m3.
- 2) Eje de Cierre B-B'
Para una altura de presa de 33m'.
Longitud de la base = 15m.
Longitud de Coronación = 475 m.
Volumen Almacenable = 35'000,000 m3.
Pérdidas de Evaporación = 8'400,000 m3.
Volumen Util = 26'600,000 m3.

Tomando en consideración las características geológicas de la zona de cierre, en que los materiales de cimentación son depósitos morrénicos, se puede preveer que la estructura de



cierre más conveniente es una presa de tierra de cuerpo homogéneo con revestimiento superficial de enrocado, similar a la presa de Pañe que reúne semejantes condiciones geológicas en su vaso y boquilla.

4.3.3

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Los materiales de construcción necesarios para una presa de tierra de cuerpo homogéneo tal como se ha propuesto se encuentran en toda el área del reservorio.

Estos materiales son los depósitos morrénicos que presentan condiciones favorables para una buena compactación.

Por la abundancia de estos materiales y las posibles variaciones en la calidad del material, el banco de préstamo se debe elegir con estudios de campo y pruebas de Laboratorio más detallados.

El material de enrocado para la protección del cuerpo de presa, se debe obtener de canteras en los derrames andesíticos que afloran en el flanco izquierdo en los alrededores del Pueblo de Bamputañe.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



V.- CONCLUSIONES

5.1.0 GENERALIDADES

- a) La región, en la cual está encuadrada el presente estudio se identifica morfológicamente con el nivel Puna, con altitudes que penetran entre los 3,900 a los 4,500 m.
- b) En la región del altiplano el clima es seco y frío, con cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche. Las precipitaciones promedio anuales son del orden de 500 mm. de Imata y de 740 mm-de Pañe.
- c) El volcanismo es el principal factor geológico de la región que ha actuado en el Terciario y Cuaternario.
Las rocas volcánicas son derrames lávicos y piroclásticos (tufos y aglomerados).



- d) Los depósitos detríticos Cuaternarios están representados por depósitos glaciarios, depósitos lacustres, depósitos fluviales, conos de deyección y depósitos de talud.
- e) Los rasgos geomorfológicos de la región son los característicos de la intensa actividad volcánica que es el principal responsable de la morfología actual.

5.2.0 PAMPA DE IMATA (LAGUNA DEL INDIO)

- a) La Laguna del Indio se encuentra ubicada en la pampa de Imata, llamada también Vincocaya, a unos 4,450 m.s.n.m.
- b) Las rocas aflorantes son en su totalidad volcánicas constituidas de derrames lávicos y piroclásticos de tufo y aglomerados.
- c) La pampa de Imata, en la zona de Sumbay (al W de la laguna del Indio) es una planicie rellena por depósitos continentales cuaternarios: limos, arcillas, arenas y gravillas que encierran una napa acuífera libre.
- d) Con las mediciones del nivel Estático en los 45 piezómetros en la zona de Sumbay, se elaboró un plano con curvas isopiezométricas.
- e) La profundidad de la napa acuífera, nos señala que esta es sub superficial, con profundidades que varían entre 0.01 m. y 1.45m.
- f) La dirección general de escorrentía subterránea es hacia la Laguna del Indio, que es la cuenca receptora de la napa freática.
- g) El gradiente hidráulico de la napa es bajo, del orden de 1 a 4% . Las pruebas de conductividad Hidráulica nos señalan valores de 0.1-0.5 m/día, que corresponden a permeabilidad muy lenta a lenta.
- h) Todas las muestras de agua analizadas para determinar su calidad, nos indica salinidad baja, con condiciones de excelentes a buenas para riego y usos potables.
- i) Esta napa no es explotada y por sus condiciones de yacencia : escasa potencia del material acuífero, pobre permeabilidad y reducido caudal de las emergencias en las rocas tufáceas, consideramos que esta napa sub superficial no reúne las condiciones de acuífero explotable.

AUTORIDAD



- j) En la Pampa de Imata, zona del Colca (Al N. de la Laguna del Indio) se han excavado 25 piezómetros.
- k) Las mediciones de nivel estático y las observaciones de campo nos llevan a concluir que esta zona presenta características hidrogeológicas particulares que no permiten elaborar un plano con curvas isopiezométricas.
- l) En esta zona hay superposición de dos napas : una Libre o Freática ocupando como acuífero los delgados materiales inconsolidados y otra napa a presión circulando por fibras en rocas tufáceas que afloran en muchos tramos y en otros está a poca profundidad como lo demuestran las excavaciones.
- m) Por sus condiciones de yacencia y lo reducido de sus caudales, estas napas no reúnen condiciones de acuífero explotable.

5.3.0

EMBALSE DE PILLONES

- a) En el área interesada por el embalse de Pillones, todas las rocas aflorantes son volcánicas; predominando los tufos y aglomerados que presentan capas sub horizontales.
- b) Las características geomorfológicas nos indican que el vaso reúne buenas condiciones de sellado y que no deben presentar mayores problemas en referencia a la estabilidad de taludes.
- c) La boquilla es bastante amplia de unos 400 m. en la base. Los estribos están constituidos por rocas tufáceas poco litificadas, porosas, livianas, regularmente diaclasadas con posición subhorizontal de los estratos.
- d) La zona entre estribos está constituida en superficie por depósitos fluviales (terraza de inundación y depósitos del lecho mayor) de arcillas, limas, arenas y gravas que encierran una napa freática subsuperficial de débil permeabilidad.
- e) La amplitud del vaso, originará un espejo de agua de gran extensión, con pérdidas por evaporación estimadas de-----
7'500,000m³/año, para una altura de presa de 28m. y volumen almacenable de 100'000,000 m³.

AUTORIDAD



- f) Materiales de construcción del tipo de arenas, semi-permeables y rocas existen en suficiente cantidad para una presa de tierra. Materiales arcillosos de gran impermeabilidad no son abundantes en superficie.
- g) Tomando en consideración las características geológicas geomorfológicas y topográficas de la boquilla, se llega a la conclusión de que la estructura de cierre más conveniente es una presa de tierra.

5.4.0

EMBALSE DE BAMPUTAÑE

- a) Las rocas aflorantes en el valle de Bamputañe son derrames volcánicos aúdesíticos, de coloración gris oscura de textura porfídica, macivas y duras.
- b) El reservorio de Bamputañe presenta los rasgos geomorfológicos de la glaciación cuaternaria que ha modelado el relieve y acumulado los productos de su trabajo glyptogénico de manera inconfundible, en que el fondo y flancos del valle glaciario están caracterizados por lomas y depresiones caóticamente distribuidas.
- c) La zona de cierre, en sus dos estribos, está constituida por depósitos glaciarios (morrenas), estos materiales son en general homogéneos en sus propiedades ingenierales, de buena densidad y poca permeabilidad. El sector **entre** estribos es un estrechamiento de unos 25 m. de ancho originado por erosión fluvial.
- d) El reservorio de Bamputañe presenta buenas condiciones de sellado y estabilidad de talud.
- e) De acuerdo al gráfico de áreas-volúmenes tenemos que para una altura de presa de 30 m. se almacenarán 35 millones de m³. las pérdidas por evaporación serán del orden de 8 millones de m³.
- f) Materiales de construcción para estructuras de tierras existen en suficiente cantidad para toda el área del reservorio.
- g) De acuerdo a los estudios realizados se puede prever que la estructura de cierre mas conveniente es una presa de tierra de cuerpo homogéneo con revestimiento superficial de enrocado.

AUTORIDAD NACIONAL

