

"Año de la Promoción de la Industria Responsable y del Compromiso Climático".

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**

**(Creada por Ley Nro. 25265)**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS-CIVIL**

**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE MINAS**



**TESIS**

**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DEL  
PROYECTO DE EXPLORACIÓN TAMBOMAYO  
CÍA. DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

PRESENTADA POR:

**Bach. ZEVALLOS CASO, Nérida**

ASESOR:

**DR. JOSÉ LUIS GAVE CHAGUA**

**HUANCAVELICA – PERÚ 2014**

# INDICE

DEDICATORIA.....	9
AGRADECIMIENTO.....	10
RESUMEN.....	12
SUMMARY .....	15
<b><u>CAPITULO I:</u></b>	
<b>PROBLEMA .....</b>	<b>18</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2.1. <i>Problema General:</i> .....	19
1.2.2. <i>Específicos:</i> .....	20
1.3. OBJETIVO: GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	20
1.3.1. <i>General.</i> .....	20
1.3.2. <i>Específicos</i> .....	20
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	20
<b><u>CAPITULO II:</u></b>	
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1. ANTECEDENTES .....	22
2.2. BASES TEÓRICAS .....	22
2.2.1. <i>Hidrología:</i> .....	22
2.2.2. <i>Importancia:</i> .....	23
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....	25
2.3.1. <i>Marco Geológico:</i> .....	25
2.4. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA .....	33
2.4.1. <i>Recopilación de Información:</i> .....	33
2.4.2. <i>Precipitación:</i> .....	34

2.4.3. <i>Temperatura:</i> .....	35
2.4.4. <i>Evaporación:</i> .....	36
2.4.5. <i>Evapotranspiración:</i> .....	36
2.5. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA .....	36
2.5.1. <i>Parámetros Geomorfológicos:</i> .....	36
2.5.2. <i>Hidrografía:</i> .....	37
2.6. HIPÓTESIS .....	38
2.6.1. <i>General:</i> .....	38
2.6.2. <i>Específicos:</i> .....	38
2.7. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	39
2.8. DEFINICIÓN CONCEPTUAL .....	39
2.8.1. <i>Definición Operativa de Variables:</i> .....	39

### **CAPITULO III:**

<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>40</b>
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO .....	40
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	40
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	40
3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	40
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	40
3.6. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO .....	41
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	41
3.8. PROCEDIMIENTO DE DATOS Y ANALISIS DE DATOS .....	41

### **CAPITULO IV:**

<b>RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	42
4.1.1. <i>Hidrogeología Conceptual:</i> .....	42
4.1.2. <i>Estratigrafía del Área de Estudio:</i> .....	42
4.1.3. <i>Unidades Hidrogeológicas:</i> .....	43
4.1.4. <i>Identificación de Unidades Hidrogeológicas:</i> .....	44

4.1.5. Geometría del Reservorio:.....	45
4.1.6. Niveles Freáticos:.....	46
4.1.7. Profundidad del Techo de la Napa Freática:.....	47
4.1.8. Zona de Recarga y Descarga: .....	47
4.1.9. Dirección del Flujo Subterráneo:.....	48
4.1.10. Formaciones Geológicas con Capacidad de Almacenamiento de Agua Subterránea:.....	49
4.1.11. Comportamiento Hidráulico:.....	50
4.1.12. Secciones Hidrogeológicas Conceptuales: .....	50
4.2. MODELO HIDROGEOLOGICO NUMÉRICO .....	54
4.2.1. Modelamiento Numérico de las Aguas Subterráneas: .....	54
4.2.2. Elaboración del Modelo Matemático: .....	55
4.2.3. Pozos de Observación .....	63
4.3. DISCUSIÓN .....	64
4.3.1. Investigaciones Geofísicas por medio de Líneas de Tomografías Geoeléctricas:.....	66
4.3.2. Investigaciones Geotécnicas por medio de perforaciones Diamantinas: .....	82
4.3.3. Ensayos de Permeabilidad en Perforaciones Diamantinas:.....	90
4.3.4. Instalación de Piezómetros Hidráulicos: .....	100
4.3.5. Inventario de Fuentes de Agua: .....	102
4.3.6. HIDROQUÍMICA: .....	103
4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	111
A) Formulación de las hipótesis estadísticas: .....	111
B) Nivel de significancia:.....	111
C) Estadístico de prueba:.....	111
D) Regla de decisión:.....	112
E) Decisión:.....	112
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>115</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>116</b>

## INDICE DE CUADROS

- Cuadro N° 1.0: *Estaciones Meteorológicas*
- Cuadro N° 2.0: *Precipitación Total Mensual (mm) – Año Promedio*
- Cuadro N° 3.0: *Precipitación Total Mensual (mm) – Año Húmedo*
- Cuadro N° 4.0: *Precipitación Total Mensual (mm) – Año Seco*
- Cuadro N° 5.0: *Temperatura Mensual – Estación Sibayo (°C)*
- Cuadro N° 6.0: *Temperatura Mensual – Estación Mina Shila (°C)*
- Cuadro N° 7.0: *Evaporación Estación Caylloma – (mm)*
- Cuadro N° 8.0: *Evapotranspiración Zona de Estudio – (mm)*
- Cuadro N° 9.0: *Parámetros Geomorfológicos*
- Cuadro N° 10.0 *Permeabilidad Media por Unidad Hidrogeológica*
- Cuadro N° 11.0 *Niveles Freáticos en Piezómetros Proyecto Tambomayo*
- Cuadro N° 12.0 *Parámetros de Conductividad Hidráulica según Litología*
- Cuadro N° 13: *Líneas de Tomografía Geoeléctrica*
- Cuadro N° 14: *Perforaciones Diamantinas ejecutadas (Sistema WGS-84)*
- Cuadro N° 15.0: *Perforaciones Diamantinas PT-01*
- Cuadro N° 16.0: *Perforaciones Diamantinas PT-02*
- Cuadro N° 17.0: *Perforaciones Diamantinas PT-03*
- Cuadro N° 18.0: *Perforaciones Diamantinas PT-04*
- Cuadro N° 19.0: *Perforaciones Diamantinas PT-05*
- Cuadro N° 20.0: *Perforaciones Diamantinas PT-06*
- Cuadro N° 21.0: *Perforaciones Diamantinas PT-07*
- Cuadro N° 22.0 *Perforaciones Diamantinas PT-08*
- Cuadro N° 23.0 *Perforaciones Diamantinas PT-09*
- Cuadro N° 24.0 *Perforaciones Diamantinas BH-06*
- Cuadro N° 25.0 *Perforaciones Diamantinas BH-07*
- Cuadro N° 26.0 *Perforaciones Diamantinas BH-08*
- Cuadro N° 27.0 *Perforaciones Diamantinas BH-09*
- Cuadro N° 28.0 *Perforaciones Diamantinas BH-10*

*Cuadro N° 29.0 Perforaciones Diamantinas BH-11*  
*Cuadro N° 30.0 Perforaciones Diamantinas BH-13*  
*Cuadro N° 31.0 Perforaciones Diamantinas BH-14*  
*Cuadro N° 32.0 Resultados de Permeabilidad – PT-01*  
*Cuadro N° 33.0 Resultados de Permeabilidad – PT-02*  
*Cuadro N° 34.0 Resultados de Permeabilidad – PT-03*  
*Cuadro N° 35.0 Resultados de Permeabilidad – PT-04*  
*Cuadro N° 36.0 Resultados de Permeabilidad – PT-05*  
*Cuadro N° 37.0 Resultados de Permeabilidad – PT-06*  
*Cuadro N° 38.0 Resultados de Permeabilidad – PT-07*  
*Cuadro N° 39.0 Resultados de Permeabilidad – PT-08*  
*Cuadro N° 40.0 Resultados de Permeabilidad – PT-09*  
*Cuadro N° 41.0 Resultados de Permeabilidad – BH-06*  
*Cuadro N° 42.0 Resultados de Permeabilidad – BH-07*  
*Cuadro N° 43.0 Resultados de Permeabilidad – BH-08*  
*Cuadro N° 44.0 Resultados de Permeabilidad – BH-09*  
*Cuadro N° 45.0 Resultados de Permeabilidad – BH-10*  
*Cuadro N° 46.0 Resultados de Permeabilidad – BH-11*  
*Cuadro N° 47.0 Resultados de Permeabilidad – BH-12*  
*Cuadro N° 48.0 Resultados de Permeabilidad – BH-13*  
*Cuadro N° 49.0 Resultados de Permeabilidad – BH-14*  
*Cuadro N° 50.0 Piezómetros Instalados en el Proyecto Tambomayo*  
*Cuadro N° 51.0 Inventario de Fuentes de Agua superficiales*  
*Cuadro N° 52.0 Inventario de Bofedales*  
*Cuadro N° 53.0 Ubicación de piezómetros*  
*Cuadro N° 54.0 Resultados del balance iónico*  
*Cuadro N° 55.1 Resultados de Análisis*  
*Cuadro N° 55.2 Resultados de Análisis*  
*Cuadro N° 55.3 Resultados de Análisis*  
*Cuadro N° 55.4 Resultados de Análisis*  
*Cuadro N° 55.5 Resultados de Análisis*

## INDICE DE FIGURAS

- Figura N° 1.0: Discretización en planta del Modelo Numérico*
- Figura N° 2.0: Discretización Vertical del Modelo Numérico (Dirección Este-Oeste)*
- Figura N° 3.0: Discretización Vertical del Modelo Numérico (Dirección Norte-Sur)*
- Figura N° 4.0: Topografía del Modelo Numérico*
- Figura N° 5.0: Topografía del Modelo Numérico*
- Figura N° 6.0: Sección de la Distribución Espacial de la Conductividad Hidráulica*
- Figura N° 7.0: Distribución Espacial de la Conductividad Hidráulica*
- Figura N° 8.0: Piezómetros Instalados en el proyecto Tambomayo*
- Figura N° 9.0: Niveles Iniciales de Agua Subterránea*
- Figura N° 10.0: Niveles de agua ingresadas al modelo matemático*
- Figura N° 11.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-1*
- Figura N° 12.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-2*
- Figura N° 13.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-3*
- Figura N° 14.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-4*
- Figura N° 15.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-5*
- Figura N° 16.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-6*
- Figura N° 17.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-7*
- Figura N° 18.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-8*
- Figura N° 19.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-9*
- Figura N° 20.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-10*
- Figura N° 21.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-11*
- Figura N° 22.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-12*
- Figura N° 23.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-13*

## INDICE DE PLANOS

Plano N° MM023-2012-GE-01:	Geología del Área del Proyecto
Plano N° MM023-2012-GT-01:	Investigaciones Hidrogeológicas Proyecto Tambomayo
Plano MM023-2012-HG-01:	Red de Piezómetros Hidráulicos Proyecto Tambomayo
Plano MM023-2012-GT-02:	Sección Hidrogeológica Conceptual 1-1'
Plano MM023-2012-GT-03:	Sección Hidrogeológica Conceptual 2-2'
Plano MM023-2012-GT-04:	Sección Hidrogeológica Conceptual 3-3'
Plano MM023-2012-GT-05:	Sección Hidrogeológica Conceptual 4-4'
Plano MM023-2012-GT-06:	Sección Hidrogeológica Conceptual 5-5'
Plano MM023-2012-GT-07:	Sección Hidrogeológica Conceptual 6-6'
Plano MM023-2012-GT-08:	Sección Hidrogeológica Conceptual 7-7'
Plano MM023-2012-GT-09:	Sección Hidrogeológica Conceptual 8-8'

## DEDICATORIA

*A mi hijo Mauricio Abel  
Quispe Zevallos, que con su  
Amor, travesuras e  
inquietudes me da la  
fuerza necesaria para  
estar de pie y con la cabeza  
en alto para enfrentar  
cualquier situación por  
más difícil que sea.*

*A mis padres Teresa y  
Abelardo por ser los grandes  
pilares en el forjamiento de  
mi formación personal y  
profesional.*

## **AGRADECIMIENTO**

Este es el momento de dar las gracias, de nuevo a quien tantas veces se las he dado, y a quien de veras se las merece y pocas veces han leído un GRACIAS tan sinceramente escrito. Se merece mi más sincero agradecimiento toda la gente que me ha apoyado, por su constancia incesante, y su compañía silenciosa.

A mis padres, Teresa y Abelardo, a mi hijo y a mis hermanos, por ayudarme para llegar hasta aquí y por su apoyo incondicional.

A mi segunda madre Zósima y prima Elma, por su constancia y apoyo incondicional.

Gracias a toda la gente que me ha acompañado durante mi vida universitaria y estadia en Angaraes, incluyendo catedráticos y alumnos, en la Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería Minas y Civil, a la Escuela Académico Profesional de Minas.

Mis sinceros agradecimientos a Don Alberto Benavides de la Quintana, al Ing. Roque Benavides Ganoza. A la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. (CMBSAA). Al Ing. Carlos Rodríguez, Gerente de Medio Ambiente de CMBSAA, al Ing. Miguel Correa, Gerente General de CEDIMIN SAC, quien me designó al Proyecto de Exploración Tambomayo como Ing. Ambiental en Entrenamiento y así mismo desarrollar el presente trabajo.

Al personal del Proyecto de Exploración Tambomayo por la colaboración prestada para el desarrollo del presente trabajo, en especial atención a:

Al Ing. Gerardo Loyola Malqui, Superintendente General (e) del Proyecto de Exploración Tambomayo, en su calidad de encargado de Proyecto, me sugirió que apoyara en el Estudio Hidrogeológico del Proyecto de Exploración Tambomayo que lo realizó la Consultora GEOSERVICE INGENIERIA SAC, ya que tiene efectos sobre la población y el medio ambiente.

Al Ing. Sergio Melgarejo Guillermo, Superintendente de Mina (e), por su colaboración de documentaciones referidos a los sistemas de trabajo en minería de interior de la unidad.

Al Ing. Gonzalo Mendoza Begazo, Superintendente de Geología, por su apoyo en documentaciones de planos (geología de la unidad, ubicación de coordenadas PSA 56 y WGS 84, ubicación de cuencas, bofedales, piezómetros, puntos de monitoreo, etc.)

Al Ing. Miguel Marroquin, Jefe Dpto. de Geología, por su apoyo en documentaciones de geología (geología local, estructural, geología de las cuencas, etc.).

Al Ing. Pablo Aburto Quisurco, Jefe Dpto. de Medio Ambiente, por ser guía en el desarrollo y análisis del Estudio Hidrogeológico del Proyecto de Exploración Tambomayo.

Al Ing. Alvaro Montenegro L, Responsable de la consultora GEOSERVICE INGENIERIA SAC, por ser guía en el desarrollo y análisis del Estudio Hidrogeológico del Proyecto de Exploración Tambomayo.

A los Sres.: Reynaldo Ychocan U, Leandro Arotaype A. Jorge Zavala L, Personal Apoyo para llevar a cabo los diferentes monitoreos y trabajos de campo.

A los trabajadores en general del Dpto. de Medio Ambiente y de la Empresa GAMSUR SAC, por su apoyo en los trabajos de Campo.

Al Ing. José L. Gave Chagua, Por aceptar ser Tutor y guía para desarrollar el trabajo.

A todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron con la culminación del trabajo.

## RESUMEN

El agua es un recurso natural finito y vulnerable que resulta esencial para la vida en nuestro planeta. Tiene un valor económico, social y ambiental en todos los usos a los que se destina por lo que su análisis, administración, planificación y gestión ha de contemplar las relaciones existentes entre la economía, la sociedad y el medio ambiente en el marco geográfico del espacio físico en donde se desarrolla el ciclo hidrológico, las cuencas hidrográficas.

En el presente trabajo se realiza un Estudio Hidrológico e Hidrogeológico del Proyecto Tambomayo con la consultora GEOSERVICE INGENIERIA SAC, el cual será desarrollado para determinar las influencia de las características del flujo de agua subterránea en el diseño y planificación de las operaciones del proyecto de Exploración Tambomayo, ubicada en la Sierra del Sur de Perú, en el distrito de Tapay, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, a una altura promedio de 4,780 metros, que viene realizando trabajos de exploración la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.

Para resolver el problema se deberá caracterizar los parámetros físico-química y geometría del agua subterránea de la cuenca Tambomayo, determinar la presencia de agua subterránea, dentro del diseño y planificación de las operaciones de la mina y determinar la influencia de la presencia del agua en la estabilidad de taludes y huecos mineros.

Para la programación de los trabajos de campo del presente estudio, GEOSERVICE INGENIERIA ha considerado la información geológica e hidrogeológica preliminar existente en estudios anteriores que ha desarrollado, tales como:

- ✓ Elaboración de la Línea Base Ambiental y Social del Proyecto Tambomayo.
- ✓ Elaboración de la Modificación del EIA del Proyecto de exploración Tambomayo.
- ✓ “Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de la Quebrada Ucriamayo (zona de Tuyumina) y la Línea Base de la quebrada Sepregina (zona de Tapay)”.

En dichos estudios, se definieron contactos geológicos y ubicación de zona de bofedales vinculados al proyecto.

Conociendo la ubicación de bofedales, los cuales están relacionados a flujos de agua subterránea, GEOSERVICE definió investigaciones geofísicas por medio de una red de 13 líneas de tomografía geoeléctrica, la cual permitiría conocer la potencia y profundidad de la zona de bofedales y/o zonas de posible existencia de acuíferos.

Asimismo, considerando que las investigaciones geofísicas, son investigaciones indirectas, para corroborar dicha información, se programó investigaciones directas por medio de perforaciones diamantinas e instalación de piezómetros hidráulicos. Esta instrumentación permitiría confirmar la presencia de niveles freáticos en la zona de estudio.

La ubicación de los piezómetros fue optimizada, considerando la instrumentación piezométrica existente en las zonas de componentes del proyecto (piezómetros en zona de botadero y depósito de relaves).

Los piezómetros han sido instalados en zonas de eje de quebrada o próximos a ellas, puesto que en el sector de estudio, la posible existencia de acuíferos están relacionados a la quebrada principal, desechando la posibilidad de existencia de acuíferos en partes altas.

Asimismo, se ha programado la instalación de instrumentación piezométrica en la quebrada Sahualque (antes de su confluencia con la quebrada Tambomayo), así como en la quebrada Ticlla. Dicha instrumentación permitirá conocer la calidad y el flujo de agua subterránea antes de la entrega al curso principal.

Se han instalado en la zona del proyecto 19 piezómetros hidráulicos, los cuales conforman la red de instrumentación hidrogeológica.

Luego de realizar los trabajos se presentará los resultados y caracterización hidrogeológica de la zona del proyecto en base estudios geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, estudios geofísicos, perforaciones diamantinas, pruebas hidráulicas, instalación de piezómetros hidráulicos y secciones hidrogeológicas conceptuales. La interacción de las disciplinas anteriores, permitirán definir el modelo hidrogeológico conceptual y numérico del proyecto Tambomayo.

**Palabras Claves:** agua subterránea, bofedal, caracterización, geología, hidrogeología, piezómetro, geofísica.

## SUMMARY

Water is a natural finite and vulnerable resource that proves to be essential for the life in our planet. He has a cost-reducing, social and environmental value in all the uses one destines to for that his analysis, administration, planning and step has to contemplate the existent relations between economy, the society and the ambient midway in the physical space's geographic frame where the cycle unrolls hidrológico, drainage areas itself.

In the present I work GEOSERVICE sells off an Estudio Hidrológico and Hidrogeológico of the Proyecto Tambomayo with the consultant itself ENGINEERING SAC, which will be developed to determine he influences them of the characteristics of the flow of subterranean water in the design and planning of the operations of Exploración Tambomayo's project, located in the saw of the south of Peru, at Tapay's district, Caylloma's province, Arequipa's department, to an average 4.780-meter height, the fact that he comes accomplishing works of exploration Minas Buenaventura S.A.A's hipbone.

Parameters will have to be characterized in order to do the trick physical chemistry and geometry of the groundwater of the basin Tambomayo, determining the presence of subterranean water, inside the design and planning of the operations of the mine and determining the influence of the presence of the water in the stability of slopes and mining holes.

I study for the programming of the fieldworks of the present, GEOSERVICE ENGINEERING he has considered the geological information and preliminary existent hidrogeológica in previous studies that he has developed, cut like:

- ✓ Elaboration of the Environmental and Social Base Line of the Project Tambomayo.
- ✓ Elaboration of the Modification of the EIAsd of the Project of exploration Tambomayo.
- ✓ Estudio Hidrológico and Hidrogeológico of the Quebrada Ucriamayo ( Tuyumina's zone ) and the Base Line of the narrow pass Sepregina ( Tapay's zone ).

In the aforementioned studies, they defined geological contacts and position of zone of bofedales linked to the project.

Knowing bofedales's position, which are connected to flows of subterranean water, GEOSERVICE you defined soil surveys by means of a 13-line tomography net geoelectrical, which it would allow knowing potency and depth of bofedales's zone and or zones of possible existence of water-bearing.

In like manner, postulate than soil surveys, they are indirect investigations, to corroborate the aforementioned information, direct investigations by means of diamond-like perforations and installation of hydraulic piezometers were programmed. This instrumentation would allow confirming the multilevel presence phreatic at the survey area.

The position of the piezometers was optimized, considering the piezometric existent instrumentation at the zones of components of the project ( piezometers at zone of dumping and deposit of wash again ).

Piezometers have been installed at narrow pass zones of axle or next to them, since at the sector of study, the possible existence of water-bearing they are connected to the main narrow pass, discarding the possibility of existence of water-bearing in tall parts.

In like manner, the installation of piezometric instrumentation at the narrow pass Sahualque ( before your flowing together with the narrow pass Tambomayo ), as in the narrow pass Ticlla has been programmed. The aforementioned instrumentation will allow knowing quality and the flow of subterranean water before the delivery to the main course.

19 hydraulic piezometers, which have moved in at the project's zone they conform the net of instrumentation hidrogeológica.

Hidrogeológica of the zone of the project in base will encounter results and characterization right after accomplishing works geological studies, hidrogeológicos, hidrológicos, geophysical studies, diamond-like perforations, hydraulic proofs, installation

of hydraulic piezometers and sections conceptual hidrogeológicas. The interaction of the previous disciplines, they will allow defining the model conceptual and numerical hidrogeológico of the project Tambomayo.

**Key words:** Groundwater, bofedal, characterization, geology, hidrogeología, piezometer, geophysicist.

# **CAPITULO I**

## **PROBLEMA**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El manejo de los recursos de agua constituye una parte vital e integral en las operaciones mineras debido al potencial de contaminación del agua y su efecto consecuente en la salud humana y el medio ambiente. El manejo ambiental de este recurso comprende el manejo de agua en minas, efluentes de procesos de beneficio, escorrentías de las soluciones de lixiviación, aguas superficiales provenientes de depósitos tales como las pilas de desmonte y canchas de relaves, y los desechos humanos.

En términos generales y desde muy distintos puntos de vista, es fácil comprender que las actividades mineras se encuentran muy estrechamente ligadas al agua:

- ✓ Como un problema a evitar, disminuir o corregir la explotación.
- ✓ Como una necesidad de utilización del recurso para su aprovechamiento en la propia mina o fuera de ella.
- ✓ Como un recurso ambiental que es necesario proteger, mostrando a la sociedad que así se hace y que se hace bien.

En comparación con la mayoría de las actividades industriales y agrícolas, la explotación minera no es una gran consumidora de agua, aunque la necesita y requiere tener asegurado el abastecimiento necesario.

Muchas veces el problema es el inverso y tiene que liberar grandes cantidades de agua no deseable en el ámbito del proyecto. Este es el problema del drenaje minero: el de captar, transportar y eliminar hacia el entorno (medio ambiente) flujos de agua y hacerlo de tal manera que no ocasionen daños. Por tanto el problema del agua requiere el adecuado enfoque y planteamiento, así como su correcta gestión.

Para ello, es necesario que las soluciones estén fundamentadas en estudios hidrológicos e hidrogeológicos que sean suficientemente detallados, hayan sido desarrollados desde el mismo inicio del proyecto y estén destinados a permitir la gestión racional de las aguas interceptadas.

Uno de los puntos de partida de todo proyecto que contemple una excavación de cierta envergadura es, consecuentemente, empezar por llegar a alcanzar un profundo conocimiento de la realidad del entorno físico en el que se va a operar mediante la realización de los correspondientes estudios e investigaciones de tipo hidrológico e hidrogeológico y encaminados a permitir gestionar correctamente esa presencia de aguas de distinto origen desde tres puntos de vista:

- ✓ El agua y su influencia en la estabilidad de taludes y labores mineras, en definitiva en la seguridad geotécnica de la explotación.
- ✓ El agua dentro de la planificación y de las operaciones de mina, teniendo en cuenta que los usos del agua y las necesidades dentro de la mina son muy diversas.
- ✓ El agua y el medio ambiente, abordando tanto los problemas asociados a la operación minera en si como los derivados del futuro abandono de la actividad.

La Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – CMBSAA viene explorando el Proyecto Tambomayo, el cual tiene la intención de explotar el yacimiento. Como toda explotación minera viene interferida por la presencia del agua, el propósito es identificar la presencia de la misma, mediante cuencas, acuíferos, acuitardos, acuífugos, lagos, etc. Donde será necesario implementar planos y/o mapas hidrogeológicos, para saber a qué se enfrenta el minero, para llevar a cabo su explotación.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema General:**

¿De qué manera la calidad del agua subterránea influye en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?

### **1.2.2. Específicos:**

- a. ¿De qué manera la caracterización físico-química del agua subterránea influye en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?
- b. ¿Cómo influye la resistividad de los suelos en el diseño y planificación de las operaciones mineras Proyecto de Exploración Tambomayo?
- c. ¿Cómo influye el agua subterránea en la estabilidad de taludes y huecos mineros en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?

## **1.3. OBJETIVO: GENERAL Y ESPECÍFICOS**

### **1.3.1. General.**

Determinar la influencia de la calidad del agua subterránea en el diseño y planificación de las operaciones del proyecto de Exploración Tambomayo.

### **1.3.2. Específicos**

- a. Determinar las características físico-química del agua subterránea para el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?
- b. Determinar la influencia de la resistividad de los suelos para el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?
- c. Determinar la influencia del agua subterránea en la estabilidad de taludes y huecos mineros en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Generalmente el agua es omnipresente en un macizo rocoso, que para controlar su acción en las labores mineras hay que conocer el origen (superficial, subterráneo, intersticial, capilar, etc.), la interrelación agua superficial – agua subterránea, la

distribución de zonas de humedad en el macizo, el movimiento (flujo), la interacción con la roca (mecanismos de precipitación, disolución, etc.), el volumen almacenado (para calcular y dimensionar obras de drenaje), e incluso la composición puesto que afecta a las infraestructuras mineras (aguas ácidas, por ejemplo, respecto a elementos metálicos de contención o de transporte en galerías).

El gran avance es además fruto de la concienciación de la sociedad del hecho de que el agua es un bien escaso cuya explotación y uso hay que gestionar y planificar de la manera más racional posible. El agua es, en la actualidad, el principal factor limitante del desarrollo en muchos lugares del mundo. Si a ello unimos los frecuentes períodos de sequía y/o las inundaciones catastróficas que destrozan infraestructuras, se comprenderá que la investigación sobre el agua no es un lujo, sino una necesidad imperiosa para la humanidad, en los países desarrollados para mantener la calidad de la vida, y en los subdesarrollados para subsistir.

Cabe mencionar que la agricultura y ganadería constituye la principal actividad socio-económica de la zona y la cuenca del río Tambomayo, y por tanto la actividad de mayor consumo de agua superficial.

Conflictos entre usuarios de la zona baja (Tapay bajo, Fure, Belén, Malata, Cosñirhua) y zona alta (Tapay Alto, Tocallo), por el logro de una mayor disponibilidad hídrica en los meses de déficit.

Con el presente estudio se pretende identificar y cuantificar: cuencas, acuíferos, acuitados y acuífugos, etc. mediante planos y/o mapas del Proyecto de Exploración Tambomayo, para así no ver perjudicada a las zonas de influencia del Proyecto.

## CAPÍTULO II

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

Se cuenta la siguiente información base para el desarrollo del presente estudio:

- ✓ Elaboración de la Línea Base Ambiental y Social del Proyecto Tambomayo, realizado por GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C.
- ✓ Elaboración de la Modificación del EIA<sub>sd</sub> del Proyecto de exploración Tambomayo, realizada por GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C.
- ✓ “Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de la Quebrada Uciamayo y la Línea Base de la quebrada Sepregina (zona de Tapay)”, realizado por Water Production S.A.C. en Julio de 2,011.

#### **2.2. BASES TEÓRICAS**

##### **2.2.1. Hidrología:**

Es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie de la Tierra, en la corteza terrestre y en la atmósfera. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. Por otra parte, el estudio de las aguas subterráneas corresponde a la hidrogeología.

Por el contrario, se denomina hidrografía al estudio de todas las masas de agua de la Tierra y, en sentido más estricto, a la medida, recopilación y representación de los datos relativos al fondo del océano, las costas, las mareas y las corrientes, de manera que se puedan plasmar sobre una carta hidrográfica. No obstante esta diferencia, los términos se utilizarán casi como sinónimos, ya que la parte de la hidrografía que interesa aquí es aquella que crea relieve, por lo tanto, la que está en contacto con la superficie terrestre, y por eso mismo la que es objeto de un análisis hidrológico.

La circulación de las masas de agua en el planeta son responsables del modelado de la corteza terrestre, como queda de manifiesto en el ciclo geográfico. Esa influencia se manifiesta en función de la distribución de las masas de rocas coherentes y deleznable, y de las deformaciones que las han afectado, y son fundamentales en la definición de los diferentes relieves.

Recordemos que un río es una corriente de agua que fluye por un cauce desde las tierras altas a las tierras bajas y vierte en el mar o en una región endorreica (río colector) o a otro río (afluente). Los ríos se organizan en redes. Una cuenca hidrográfica es el área total que vierte sus aguas de escorrentía a un único río, aguas que dependen de las características de la alimentación. Una cuenca de drenaje es la parte de la superficie terrestre que es drenada por un sistema fluvial unitario. Su perímetro queda delimitado por la divisoria o interfluvio.

Los trazados de los elementos hidrográficos se caracteriza por la adaptación o inadaptación a las estructuras litológicas y tectónicas, pero también la estructura geológica actúa en el dominio de las redes hidrográficas determinando su estructura y evolución.

### **2.2.2. Importancia:**

Las inundaciones son eventos hidrogeológicos extremos que pueden prevenirse mediante el estudio de la hidrología

En la actualidad la hidrogeología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los Recursos Hidráulicos, y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería que tienen que ver con suministro de agua, disposición de aguas servidas, drenaje, protección contra la acción de ríos y recreación. De otro lado, la integración de la hidrología con la Geografía matemática en especial a través de los sistemas de información geográfica ha conducido al uso imprescindible del computador en el procesamiento de información existente y en la simulación de ocurrencia de eventos futuros.

Los estudios hidrológicos son fundamentales para:

- ✓ El diseño de obras hidráulicas, para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelo matemático que representan el comportamiento de toda la cuenca sustentada por la obra en examen.
- ✓ La operación optimizada del uso de los recursos hídricos en un sistema complejo de obras hidráulicas, sobre todo si son de usos múltiples. En este caso se utilizan generalmente modelos matemáticos conceptuales, y se procesan en tiempo real.
- ✓ El correcto conocimiento del comportamiento hidrogeológico de como un río, arroyo, o de un lago es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidro meteorológicos extremos;
- ✓ Prever un correcto diseño de infraestructura vial, como caminos, carreteras, ferrocarriles, etc.

Todo esto y muchas aplicaciones más hacen que el hidrólogo sea un personaje importante en todo equipo multidisciplinar que enfrenta problemas de ingeniería civil en general y problemas de carácter ambiental.

## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

### **2.3.1. Marco Geológico:**

#### **2.3.1.1. Geomorfología:**

##### ***Ver Plano MM023-2012-GE-01: Geología del Área del Proyecto***

El escenario del proyecto se encuentra emplazado en la quebrada Tambomayo, tributario del río Molloco por su margen izquierda a una altitud del orden de 4,500 msnm. Este escenario exhibe un valle de típico modelado glaciar con sección transversal en forma de "U", controlado por los procesos vulcano – tectónicos ocurridos principalmente en el Terciario superior y en el Cuaternario.

El fondo del valle se encuentra tapizado por depósitos fluvioglaciales, aguas abajo del poblado Ucria, estos depósitos se encuentran parcialmente cubiertos por materiales volcánicos del Grupo Andahua.

Las laderas del valle presentan declive moderado y están labrados en rocas del grupo Tacaza (formación Orcopampa) y de la formación Sencca. Estas unidades litoestratigráficas se encuentran en ciertos casos cubiertos por depósitos cuaternarios.

La quebrada Tambomayo por cuyo fondo discurre el riachuelo del mismo nombre, se encuentra disectada por pequeñas quebradas laterales, entre ellas Ticlla y Sahualque. La red hidrográfica está controlado por el río Molloco, perteneciente a la vertiente del Pacífico.

La quebrada Tambomayo a partir de su confluencia con la quebrada Ticlla se ensancha exhibiendo una morfología plana, para luego ingresar a un tramo encajonado antes de verter sus aguas al río Molloco.

#### **2.3.1.2. Estratigrafía:**

La zona del proyecto Tambomayo se ubica dentro de la zona volcánica del sur del Perú y comprende rocas volcánicas cuyas edades

van desde el terciario medio al cuaternario pleistocénico. Además se presentan depósitos inconsolidados del cuaternario reciente.

En la zona del proyecto afloran unidades litoestratigráficas cuyas edades van desde el terciario medio hasta el cuaternario reciente y están representadas por: la formación Orcopampa (Tm-or) perteneciente al Grupo Tacaza, formación Sencca (Ts-se), grupo Barroso (Qpl-ba). Los terrenos inconsolidados pleistocénicos comprenden depósitos aluviales antiguos (Qpl-ba). El cuaternario reciente está representado por depósitos de origen glacial (Qr-gl), fluvio glacial (Qr-flg), coluvial (Qr-co), morrénico (Qr-mo) y bofedral (Qr-bo) y los depósitos relacionados a los últimos eventos volcánicos conocidos como grupo Andagua (Qr-an).

Las unidades litoestratigráficas desde la más antigua a la más moderna se describen a continuación:

a. Terciario Medio (Grupo Tacaza):

- *Formación Orcopampa (Tm-or)*

Es la unidad más representativa en el área del proyecto. Se encuentra aflorando desde las nacientes de la quebrada Tambomayo extendiéndose en sus dos márgenes. Los trabajos de exploración minera del Proyecto Tambomayo están relacionados con esta formación Orcopampa.

Litológicamente consiste de derrames volcánicos andesíticos masivos, con presencia de tufos volcánicos. La andesita tiene una coloración gris verdosa, se presentan ligeramente alteradas, duras, poco fracturadas. Los tufos se encuentran medianamente alterados, medianamente duros y medianamente fracturados, tienen una coloración pardo rojiza.

b. Terciario Superior:

- *Formación Sencca Centro Volcánicos (Ts-se)*

El volcánico Sencca (Ts-se) se presenta en discordancia angular sobre la formación Orcopampa (Tm-or).

Se trata de una secuencia de piroclastos, tobas porfíricas y micro conglomerádicas. Los clastos tienen formas angulosas a subangulosas y presentan una coloración blanquecina cremosa. Las rocas de esta formación presentan mediana dureza, con moderada alteración y fracturación.

Las planchas estructurales de esta formación constituyen mesetas sub horizontales que se observan en las partes altas de las quebradas Ticlla y Sahualke.

El cerro Minaspatha ubicado en la parte alta del valle, es uno de los principales conos volcánicos de esta unidad litoestratigráfica.

c. Pleistoceno: Grupo Barroso:

- *Estrato Volcán (Qpl-ba-ev)*

Esta unidad se encuentra expuesta en los cerros Sahualke y Tambomayo. Se trata de una serie de antiguos conos volcánicos erosionados donde los tufos ignimbríticos se alternan con lavas andesíticas y dacíticas. Presentan color gris, mediana dureza, alteradas y medianamente fracturadas.

- *Otros aparatos volcánicos (Qpl-ba-o)*

Conformada por la secuencia superior del Grupo Barroso, es una estructura principalmente lávica.

Se presentan generalmente en capas horizontales como ocurre en el cerro Huancallune, se desarrollaron sobre peneplanicies preexistentes de allí la horizontalidad de las capas.

Presentan color gris oscuro, mediana dureza, poco a medianamente alteradas y medianamente fracturadas.

- *Depósitos Murrénicos (Qp-mo)*

Estos depósitos son producto de la glaciación y se ubican sobre los 4,800 msnm a manera de lomadas con cresta morrénica bien definidas, constituidas por bloques, gravas de naturaleza andesítica englobados en matriz arenosa y sobre todo arcillosa pobremente clasificados, a veces con leve pseudo-estratificación y lentes como testigo de fusiones estacionales durante el periodo glaciario. La ablación ocasiona valles en forma de "U", circos glaciares y formas aborregadas.

- *Depósitos Glaciares (Qp-gl)*

Forman pequeñas morrenas laterales, de escasa potencia, al pie de los nevados que originan las quebradas. Constituidos por suelos gravosos arenosos en ligera matriz arcillosa, ubicados en las cabeceras de los valles glaciares de la zona del proyecto.

- *Depósitos Aluviales (Qp-al)*

Estos se desarrollan en ambos márgenes del río Molloco, teniendo su mayor desarrollo en el margen derecha, donde se encuentran conformando una extensa terraza sobre el río.

Estas terrazas se ubican en la zona denominada Pampa Japo, tienen aproximadamente una longitud de 6 km y un ancho entre 0.5 a 2 km y está disectado transversalmente por 3 quebradas.

Estos forman suelos arenosos limosos y arcillosos, color beige claro amarillento, compacto.

d. Reciente

- *Depósitos Fluvio Glaciares (Qr-fg)*

Materiales morrénicos poco consolidados de origen glaciario, trasladados por el desplazamiento de las corrientes de agua de la quebrada. Están constituidos por suelos gravosos y arenosos limosos, con presencia de bloques. Se depositan a ambos lados

de los cauces de la quebrada principal, en este caso la quebrada Tambomayo, donde conforman una estrecha franja, que está en contacto con depósitos saturados tipo bofedal.

- *Depósitos Coluviales (Qr-co)*

Depósitos desarrollados por los procesos de meteorización de las rocas volcánicas preexistentes, produciendo fragmentos de rocas, suelos gravosos y arenosos mal gradados, sin finos.

En las laderas de los cerros se encuentran conformando conos de escombros de granulometría muy heterogénea. Se desarrollan principalmente en la margen derecha de la quebrada Tambomayo sobre estos depósitos discurren pequeñas torrenteras que drenan al cauce de la quebrada Tambomayo.

- *Depósitos de Bofedales (Qr-bo)*

Conformados por suelos permanentemente saturados, que se desarrollan en ambas laderas de las partes altas de las quebradas Tambomayo, Sahualke y Ticlla, así como en la confluencia de las quebradas Ticlla y Tambomayo.

Se trata de arenas limosas de coloración beige amarillenta a beige rojiza, dependiendo de su origen litológico, medianamente densas a densas, muy húmedas a saturadas y cubierta con vegetación.

- *Depósitos Aluviales (Qr-al)*

Proceden del acarreo de materiales que se encuentran depositados en el cauce de las pequeñas quebradas tributarias así como de la quebrada Tambomayo.

Consiste de suelos gravosos y arenosos en matriz arcillosa, medianamente densos, de coloración gris.

- *Grupo Andagua(Qr-an)*

Comprende pequeños conos volcánicos formados durante las últimas actividades volcánicas de la zona.

Consisten en bancos de lapilli, cenizas volcánicas, lavas y otros depósitos piroclásticos.

En la zona de estudio se ubican en la parte baja de la quebrada Tambomayo, antes de su confluencia en el río Molloco. Conforman pequeñas lomadas en ambos márgenes de la quebrada. Litológicamente consisten de arenas, limos, gravas, escorias, irregularmente distribuidas.

**2.3.1.3. Aspectos Geoestructurales:**

La principal estructura tectónica corresponde a un sistema de fallas de orientación NESO, paralelas al eje de la quebrada Tambomayo; también se desarrollan fallas paralelas en la microcuenca de la zona de Madrigal.

Se desarrollan además sistemas de fallas transversales a la quebrada Tambomayo, con orientación predominante NO-SE.

Las vetas asociadas a este sistema de fallas tienen orientaciones N-S y NE-SO, se ubica en la zona central de la quebrada Tambomayo, en afloramientos rocosos volcánicos de la margen izquierda. Estas rocas pertenecen a la Formación Orcompampa (Tm-or).

Estos procesos geoestructurales están asociados a los eventos volcánicos del terciario superior al cuaternario pleistocénico.

En la zona baja del área de estudio se presenta una Fase cuaternaria que afectó las rocas volcánicas de los grupos Barroso y Andagua. El análisis de la posición de los conductos volcánicos nos indica zonas de debilidad por donde fluyeron los magmas que coinciden con fisuras de erupción.

Dichas fisuras tienen un alineamiento casi E-W a ENE-WSW y WNW para los aparatos ligados al vulcanismo del grupo Barroso, mientras que los relacionados al grupo Andagua tienen una dirección N-S. Los alineamientos citados corresponden a una tectónica de fractura relacionada con fallas de basamento. Además se observa una fase Pliocénica que afectó a las volcánicas de la formación Sencca, sin originar microestructuras; sino que más bien determinó los centros volcánicos por donde fluyeron dichas volcanitas, que se encuentren en posición horizontal.

En la parte alta del valle se aprecia la fase Quechua que afectó directamente a las volcanitas pertenecientes al Grupo Tacaza, esta fase cuenta con dos etapas, ambas compresionales, la primera de plegamiento y la segunda de fracturamiento y fallamiento. La primera etapa ocasionó pliegues simétricos de rumbo NW-SE con buzamientos de 10°-20°, la segunda dio origen a fallas de desgarre conjugadas y fracturas de tensión.

Las fallas de desgarre son de direcciones NW-SE y NE-SW, las primeras son sinestrales y las segundas dextrales, lo que nos da una comprensión E-W, las fracturas de tensión se originaron al inicio del proceso de fracturamiento, por la comprensión.

#### **2.3.1.4. Aspectos Geodinámica Externa:**

Los fenómenos de geodinámica externa que ocurren en la zona de estudio son en general de poca relevancia para el proyecto.

Las instalaciones a proyectarse en el área de estudio estarán mayormente emplazadas sobre roca con pequeñas coberturas de suelos.

Por otro lado se observan depósitos de derrubios, en ambas márgenes de la quebrada de Tambomayo, pero que no representan peligro para las obras a proyectarse. Los derrubios pueden ser utilizados como canteras de materiales de construcción, éstos proceden de la fragmentación y meteorización de los afloramientos rocosos de la parte alta de las laderas

del valle. Los procesos de gelifracción; es decir el congelamiento y descongelamiento del agua que penetra en las fisuras de las rocas generan su fragmentación propiciando los depósitos de derrubios.

Los fenómenos de erosión fluvial socavan las márgenes de las Quebradas Tambomayo, Ucria y Sahualke. Estos fenómenos se acentúan en las épocas de lluvias (Enero a Marzo).

#### **2.3.1.5. Condiciones Geológicas del Proyecto:**

##### **a. Zona de Influencia Directa**

El proyecto Tambomayo comprende principalmente la microcuenca de la Quebrada del mismo nombre.

La zona donde se desarrollan las actividades de exploración minera se ubica en la margen izquierda de la quebrada Tambomayo, en su zona central. En las elevaciones montañosas ubicadas entre las quebradas Ticlla y Sahualke. En estos sectores está previsto emplazar las instalaciones y campamentos de la Unidad Minera, y se están aperturando bocaminas y perforaciones de investigación.

Las formaciones volcánicas del terciario medio y superior Orcopampa (Tm-or) y Sencca (Ts-se), son las unidades directamente involucradas en el proyecto y conforman zonas estables para el emplazamiento de las obras a proyectarse.

##### **b. Zona de Influencia Indirecta**

La zona de influencia indirecta comprende el resto del área de la microcuenca de la quebrada Tambomayo.

La cabecera la quebrada Tambomayo nace al pie del Nevado Minaspata y está emplazado en rocas de la formación Sencca (Ts-se) del Terciario superior.

El eje de esta quebrada está relacionado a la traza de una falla geológica. Por otro lado el eje de la quebrada tributaria Sahualke también se relaciona con la traza de otra falla que corta a la formación Sencca y al Grupo Barroso.

El cauce de la quebrada Tambomayo se encuentra tapizado por depósitos fluvioglaciares, se observan también depósitos de bofedales.

En la margen derecha de la quebrada Tambomayo, aguas abajo de su confluencia con la quebrada Ticlla se presentan pequeñas planicies drenadas por quebradas tributarias con pendientes subhorizontales propiciando zonas saturadas.

También se observan zonas de bofedales en la confluencia de las quebradas Tambomayo y Ticlla, asimismo se han desarrollado bofedales en las partes altas de las quebradas Ticlla y Sahualke.

## 2.4. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

### 2.4.1. Recopilación de Información:

Se han considerado cinco estaciones meteorológicas, muy cercanas al área de estudio, la ubicación de las mencionadas estaciones se presentan en el Cuadro N° 1:

**Cuadro N° 1.0: Estaciones Meteorológicas**

Estación	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Periodo (años)
	Este	Norte		
Caylloma	202342.1	8319860	420	1961-2007
La Calera	175610.5	8308429.8	370	1964-1979
Sibayo	237130.4	8286477.4	810	1952-2008
Madrigal	198675.9	8271086.1	262	1981-2008
Mina Shila	164971.6	8300525.3	630	1999-2006

La información hidrometeorológica se obtuvo de estudios desarrollados para proyectos mineros cercanos a la zona de estudio y por los alcances de información de CEDIMIN SAC. La fuente principal de información corresponde a la data del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú (SENAMHI).

#### 2.4.2. Precipitación:

De acuerdo al análisis efectuado por Gea Des Ingenieros (EIA sd Proyecto Tambomayo), se ha calculado la precipitación para años promedio, húmedo y seco para las estaciones: Caylloma, La Calera, Sibayo y Madrigal. En los Cuadros N° 2.0, 3.0 y 4.0, se puede observar esta información:

**Cuadro N° 2.0: Precipitación Total Mensual (mm) – Año Promedio**

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Caylloma	177	172.9	140.5	43.2	9.7	2.4	4.4	4.8	20.1	29.9	55.1	107.2	767.2
La Calera	130	120	112.5	33.6	10.1	1.8	3.3	15.7	15.4	21	30.8	70.7	564.9
Sibayo	145	126.4	108.6	28.1	7.4	3.3	2.1	5.1	14.1	23.2	31.7	75.5	570.5
Madrigal	108.9	115.4	86.6	23.9	1.9	1.7	1.9	3.6	7.9	7.6	17.4	51.1	427.9

**Cuadro N° 3.0: Precipitación Total Mensual (mm) – Año Húmedo**

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Caylloma	222.8	187.6	167.2	71.8	8.5	1.3	6.2	2.1	18	42.6	81.6	127	936.7
La Calera	198.9	115.2	146.1	51.2	8.8	3.6	2.2	50.6	16.5	26.1	26.9	65	711.1
Sibayo	194.2	153.9	162	44.5	9.7	2.1	2.5	3.5	14.5	36.5	45.2	96.8	765.4
Madrigal	154.5	208.5	142.2	39.8	1	0.1	4.9	4.4	17.3	11.3	17.3	72.2	673.5

**Cuadro N° 4.0: Precipitación Total Mensual (mm) – Año Seco**

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Caylloma	116.9	170.5	102.2	33.8	10.9	0.8	4.8	3.9	10.4	17.6	44.1	111.7	627.6
La Calera	82.9	82.2	68.1	27.9	11.3	1.4	2.1	4.3	9.7	19.8	37.9	72.3	419.9
Sibayo	97.3	87	75.6	17.9	4.7	0.5	1.9	2.7	15.3	20.5	22.6	54.1	400.1
Madrigal	53.9	21.7	34.4	11.6	0.6	4.8	1.4	2.5	8.3	7.9	16.6	31.1	194.8

En base a la información pluviométrica disponible de las estaciones indicadas, se estableció una relación precipitación vs. altura, la cual se indica a continuación:

$$Pp_{Anual} = 128.65 * 1.0003^{\wedge} \text{Altitud (m)}$$

Considerando que la altitud media de la cuenca del río Ucriamayo es 4800 msnm, y de la cuenca del río Sepregina es 3 775 msnm, se tiene que la precipitación anual media de la cuenca del río Ucriamayo es de 786 mm y de la cuenca del río Sepregina es de 559 mm.

### 2.4.3. Temperatura:

Este parámetro se registra en la Estación Meteorológica de Sibayo, se tiene registrado una temperatura media mensual y el promedio anual de 7.9 °C, cuya variación a nivel media mensual fluctúa entre 4.7 °C (en el mes de julio) y 10.4 °C (en el mes de enero), la temperatura máxima anual es 20.0 °C, y la temperatura mínima mensual es – 6.8 °C. Ver Cuadro N° 5.0.

**Cuadro N° 5.0: Temperatura Mensual – Estación Sibayo (°C)**

Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Máxima	21.0	18.8	19.4	19.8	20.0	20.0	19.7	20.0	19.8	20.3	20.9	20.4	20.0
Media	10.4	10.1	10.0	8.9	6.8	4.9	4.7	4.9	7.1	8.4	9.0	9.5	7.9
Mínima	-0.2	-8.6	-6.8	-2.6	-7.0	-10.4	-10.6	-9.4	-8.5	-6.5	-3.8	-7.0	-6.8

Asimismo se presenta información de la estación Miina Shila, operada por CEDIMIN S.A.C. y ubicada a una altitud de 4,630 m.s.n.m. Esta estación presenta condiciones climáticas similares a la zona del proyecto. Ver Cuadro N° 6.0.

**Cuadro N° 6.0: Temperatura Mensual – Estación Mina Shila (°C)**

Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Máxima	6.5	6.5	7.1	6.6	4.9	3.4	3.3	4.2	5.5	6.5	7.0	6.8	5.7
Media	4.7	4.7	5.1	4.5	2.5	1.1	1.1	1.8	3.2	4.2	4.9	5.0	3.6

Mínima	3.3	3.3	3.6	2.8	0.7	-0.7	-0.8	-0.1	1.3	2.4	3.0	3.5	1.9
--------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

#### 2.4.4. Evaporación:

La evaporación total mensual registrada en la estación Caylloma operada por SENAMHI y ubicada a una altitud de 4420 m.s.n.m., nos indica que la evaporación total anual asciende a 1472.3 mm. Ver Cuadro N° 7.0.

**Cuadro N° 7.0: Evaporación Estación Caylloma – (mm)**

Evaporación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Promedio	116.5	101.9	109.1	118.2	119.7	108.3	106.6	121.8	129.8	148.7	155.4	136.3	1472.3

#### 2.4.5. Evapotranspiración:

La evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

En el Cuadro N° 8.0 se observa que para la zona en evaluación, la evapotranspiración total anual asciende a 443 mm.

La disminución en evapotranspiración en junio se debe a la menor temperatura media, mayor velocidad del viento y menor radiación solar incidente.

**Cuadro N° 8.0: Evapotranspiración Zona de Estudio – (mm)**

ETP	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Promedio	83.8	81.9	66.5	20.5	4.6	1.1	2.1	2.3	9.5	14.2	26.1	130.4	443.0

## 2.5. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

### 2.5.1. Parámetros Geomorfológicos:

El cálculo de los parámetros geomorfológicos se han realizado en base a las Cartas Nacionales a escala 1/100 000.

Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro N° 9.0, donde se resumen los principales parámetros geomorfológicos de la microcuenca del río Ucriamayo y Sepregina.

**Cuadro N° 9.0: Parámetros Geomorfológicos**

N°	NOMBRE	Δ ALTITUD (m.s.n.m.)	AREA (Km <sup>2</sup> )	PERIMETRO (Km)	LONGITUD DEL CAUCE (Km)	PENDIENTE DEL CAUCE (m/m)
01	Quebrada Ucriamayo	4100 - 5500	49.86	36.27	14.92	0.070
02	Quebrada Sepregina	2250 - 5300	26.74	25.06	9.16	0.289

La microcuenca del río Ucriamayo, presenta una orientación del cauce principal con una tendencia de Este a Oeste; esta cuenca tiene un área de 49.86 Km<sup>2</sup> hasta antes del punto de intersección con el río Molloco. El curso principal de esta cuenca presenta una pendiente media de 7 % con una longitud de cauce de 14.92 Km. Esta quebrada presenta algunos bofedales a lo largo de su cauce. De acuerdo al coeficiente de compacidad y factor de forma posee una respuesta moderada frente al escurrimiento.

La microcuenca del río Sepregina, presenta una orientación del cauce principal con una tendencia de Norte a Sur; esta cuenca tiene un área de 26.74 Km<sup>2</sup> hasta antes del punto de intersección con el río Colca. El curso principal de esta cuenca presenta una pendiente media de 29 % con una longitud de cauce de 9.16 Km. De acuerdo al coeficiente de compacidad y factor de forma posee una respuesta rápida frente al escurrimiento.

### **2.5.2.Hidrografía:**

El área de estudio hidrográficamente pertenece a la vertiente del Pacífico, está comprendida en la cuenca del río Camaná.

En el área de estudio discurre la quebrada Tambomayo, naciente de las faldas del Nevado Minaspata y que agua abajo toma el nombre de quebrada

Ucriamayo con dirección de Noreste a Suroeste. Asimismo, aguas abajo encontramos la quebrada Ticlla, siendo estas dos quebradas afluentes para el río Molloco.

El río Molloco toma tres nombres desde su nacimiento. Desde las lagunas altas, se le conoce con el nombre de río Illigua, luego toma el nombre de Molloco y después de la zona de Japo, el río toma el nombre de Huaruro hasta su desembocadura en el río Colca.

Hacia el este del Proyecto Tambomayo se ubica la quebrada Surihui que desemboca en la zona de Madrigal, en las quebradas Llaqulpaya y Llaquipaya.

Hacia el Sur del Proyecto Tambomayo, a una distancia de 9 km aproximadamente de la quebrada Tambomayo, se ubica la quebrada Sepregina. Al oeste de la quebrada Sepregina se ubica el río Molloco, asimismo la Quebrada Sepregina desemboca al sur en el río Colca.

El relieve está caracterizado por laderas inclinadas y accidentadas, así como por áreas colinadas u onduladas formadas por el modelado glacial y volcánico en épocas pasadas. Las formaciones nivales de estas microcuencas tienen importancia desde el punto de vista hidrológico, en el régimen de los ríos.

## **2.6. HIPÓTESIS**

### **2.6.1. General:**

La calidad del agua subterránea influye significativamente en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.

### **2.6.2. Específicos:**

- ✓ La caracterización físico-química del agua subterránea influye en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.
- ✓ La resistividad de los suelos en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.

- ✓ El agua subterránea influye en la estabilidad de taludes y huecos mineros en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.

## 2.7. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

### ✓ Variable V<sub>1</sub>:

Calidad del agua subterránea del Proyecto Tambomayo.

### ✓ Variable V<sub>2</sub>:

Diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.

## 2.8. DEFINICIÓN CONCEPTUAL

### 2.8.1. Definición Operativa de Variables:

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERATIVA	DIMENSIONES	INDICADORES
V <sub>1</sub> : Características del flujo de agua subterránea.	Son representaciones gráficas en un plano del flujo del agua a través de un medio poroso, mediante dos familias de líneas (equipotenciales y de flujo)	Son mapa base de referencia esencial donde se grafica los aspectos físicos y geológicos del macizo rocoso.	- Físico - Geológico	- Porosidad. - Coeficiente de almacenamiento. - Permeabilidad.
V <sub>2</sub> : Diseño y planificación de las operaciones mineras.	Referido a un modelo consistente en la formulación de las relaciones entre las impulsiones y las respuestas del sistema (entrada – salida), teniendo en cuenta los parámetros físicos del acuífero.	Representación simplificada de un sistema acuífero, donde exige definir la estructura (límites, cartacresticas geométricas, etc)	Según su Tipo  Según su Tamaño	- Estratificación, foliación, clivaje - Diaclasas, fallas, fracturas - Diaclasas - Fallas

## CAPÍTULO III

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO**

El ámbito de estudio será realizado en el área de planeamiento y operación de la **COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.** de la zona Tambomayo.

#### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Tecnológico.

#### **3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

Descriptivo.

#### **3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

**MG:** Método Científico.

**ME:** Pre experimental.

#### **3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño de investigación utilizado es descriptivo comparativo, cuyo esquema es el siguiente:

$M_1 \rightarrow O_1$

$M_2 \rightarrow O_2$

$M_3 \rightarrow O_3$

Dónde:

✓  $M_1, M_2, M_3 =$  Muestras

- ✓  $O_1, O_2, O_3$  = Información de cada muestra

### **3.6. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO**

#### **Población:**

Esta constituida por la Cuenca Tambomayo que está dentro proyecto de exploracion Tambomayo.

#### **Muestra:**

Quebrada de Tambomayo

### **3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

- ✓ Datos topográficos (Rumbo y Buzamiento de la veta).
- ✓ Datos geomecánicos. (tipo de rocas RMR).
- ✓ Ubicación

### **3.8. PROCEDIMIENTO DE DATOS Y ANALISIS DE DATOS**

Los instrumentos y materiales para la recolección de datos en el presente trabajo de investigación son:

- ✓ Tomógrafo geeléctrico.
- ✓ GPS
- ✓ Libreta de campo.
- ✓ Tablas del GSI modificado
- ✓ Martillo de Schmidt de dureza
- ✓ Brújula Brunton
- ✓ Flexómetro

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

##### **4.1.1. Hidrogeología Conceptual:**

En base a las investigaciones hidrogeológicas ejecutadas en la zona del proyecto, se ha desarrollado la hidrogeología conceptual en la que se enmarca el comportamiento del agua subterránea en la zona de estudio.

##### **4.1.2. Estratigrafía del Área de Estudio:**

Las investigaciones geofísicas por medio de líneas de tomografía geoeléctrica, así como las perforaciones diamantinas, han permitido conocer los estratos presentes en la zona de estudio.

La Quebrada Tambomayo se encuentra tapizada por depósitos fluvio glaciares, conformado por una mezcla de materiales gravosos limosos y arcillosos. La quebrada Tambomayo, por la suave pendiente en la que se desarrolla, origina la creación de zona de bofedales, los cuales encuentran una base semi impermeable.

La deposición geológica de los materiales en la quebrada, ha ocurrido de tal forma que la estratigrafía corresponde a depósitos que han sufrido un transporte fluvio glacial (mezcla heterogénea) con características semi impermeables; seguidamente la deposición de material corresponde a material con características menos permeables, lo que origina precisamente la generación de zonas de bofedales en superficie.

El transporte del material fluvio glaciar ha cubierto el eje de la quebrada, generando un valle en forma de "U".

La zona de bofedales de la quebrada Tambomayo, es alimentada por el río del mismo nombre, el cual se origina por el deshielo de los cuerpos de nieve presentes en la parte alta en el cerro Minaspata.

Se estima que el espesor del material fluvio glaciar esté en el orden entre los 50.00 y 80.00 metros en promedio; subyaciendo se encuentra el basamento rocoso, el cual conforma una base encajonante de los depósitos fluvio glaciares.

En la confluencia de la quebrada Ticlla y quebrada Tambomayo, el valle se ensancha, para seguidamente encañonarse nuevamente la quebrada y finalmente su entrega al río Molloco, este último tramo, la quebrada se desarrolla en afloramientos rocosos sin presencia de depósitos fluvio glaciares.

#### **4.1.3. Unidades Hidrogeológicas:**

Basándose en los resultados de las investigaciones ejecutados en campo, así como del análisis de algunos perfiles litológicos, cartas geológicas, perforaciones diamantinas, ha sido posible determinar las unidades hidrogeológicas que marcan el comportamiento del flujo de las aguas subterráneas dentro del área de estudio.

##### **4.1.3.1. Depósitos Cuaternarios:**

Esta unidad hidrogeológica está conformada por depósitos fluvio-glaciares, conformado por suelos gravosos arenosos arcillosos limosos y gravo arenosos; los ensayos de permeabilidad ejecutados en este medio arrojan permeabilidad de  $4.08 \times 10^{-4}$  cm/s, considerada permeabilidad moderada.

##### **4.1.3.2. Formación Sencca (Ts-se):**

Esta formación volcánica, de edad Terciaria, se compone mayormente de tobas dacíticas a riolíticas, y aflora mayormente en los

alrededores del futuro depósito de relaves, con presencia de fracturas y diaclasas debido al predominio de las estructuras de rumbo NNO-SSE, se considera su permeabilidad de moderada en superficie y baja en profundidad con valores que van del orden de  $1 \times 10^{-5}$  a  $1 \times 10^{-6}$  cm/seg.

#### **4.1.3.3. Formación Orcopampa (Tm-or):**

Esta formación volcánica, de edad Terciaria, es una secuencia potente, con secuencias de tufos y lavas andesíticas, con permeabilidades que varían de  $1.72 \times 10^{-4}$  a  $1 \times 10^{-6}$  cm/s, considerada permeabilidad Baja-Moderada.

#### **4.1.4. Identificación de Unidades Hidrogeológicas:**

En todo estudio hidrogeológico, la ejecución de la hidráulica subterránea permitirá determinar las características físicas y el funcionamiento del flujo subterráneo. Al respecto, debe indicarse que dentro de la hidráulica subterránea, uno de sus componentes es la hidrodinámica, la cual estudia el funcionamiento del agua subterránea y el movimiento del agua en un medio poroso o fracturado como en nuestro caso, es decir cuantifica la capacidad de almacenar y transmitir agua.

Para determinar las características hidráulicas, se ha empleado la técnica de evaluación mediante pruebas de inyección de agua (Lefranc carga constante y variable); metodología utilizada para estudiar el acuífero en condiciones naturales.

En el siguiente cuadro, se muestran las permeabilidades promedio de las unidades hidrogeológicas.

**Cuadro N° 10.0 Permeabilidad Media por Unidad Hidrogeológica**

Unidad Hidrogeológica	Permeabilidad k (cm/seg)	Rangos de Permeabilidad
Depósitos Cuaternarios	$4.08 \times 10^{-4}$	Moderada
Depósitos de Arcilla	$7.09 \times 10^{-6}$	Baja
Toba/Andesítica fracturada	$3.88 \times 10^{-3}$	Baja
Toba/Dacítica alterada	$1.72 \times 10^{-4}$	Moderada
Toba/Andesítica – Dacítica	$1.5 \times 10^{-5}$	Baja
Roca Volcánica Fresca	$1 \times 10^{-6}$	Baja

Del cuadro anterior se desprende que los depósitos cuaternarios conformados por suelos que contienen grava, limosa, arcillosa tienen una permeabilidad promedio que varía de baja-moderada, las rocas volcánicas de la Formación Orcopampa y Sencca meteorizadas y fracturadas en general tienen un rango de permeabilidad moderado-Bajo.

#### **4.1.5. Geometría del Reservorio:**

La quebrada Tambomayo se encuentra flanqueada por afloramientos rocosos de la formación Orcopampa (Tm-or) y formación Sencca (Ts-se). Existen sectores de la quebrada, que se presentan encañonamientos, y otros sectores donde la quebrada presenta un eje mucho más amplio. En ambos casos, las formaciones rocosas se profundizan en forma de "V", o en forma de triángulo invertido. Dicha profundización de los flancos rocosos, conforman el encañonamiento donde se han depositado los depósitos fluvio glaciares.

El flujo de agua subterránea se desarrolla en estos estratos, teniendo como límite el basamento rocoso, que se presenta fracturado los primeros metros de acuerdo a los registros de perforación, sin embargo, con la investigación geofísica, se determina que a mayor profundidad, las características del

macizo rocoso mejoran y se comportan como barrera impermeable, evitando la filtraciones profundas del agua subterránea.

#### 4.1.6. Niveles Freáticos:

Durante los trabajos de campo, se han realizado monitoreos de los niveles freáticos en los piezómetros instalados.

A continuación se presenta un monitoreo que se viene realizando desde la instalación hasta la fecha.

**Cuadro N° 11.0 Niveles Freáticos en Piezómetros Proyecto Tambomayo**

Número	Perforación Diamantina	Coordenadas			Longitud Ejecutada (m)	Nivel Freático (m)			
		Norte	Este	Nivel (msnm)		Dic.12	Ene.13	Feb.13	Mar.13
1	PT - 01	8288136.791	187898.118	4747.311	25.00	Rebose	Rebose	Rebose	Rebose
2	PT - 01 A	8288134.570	187897.032	4747.293	5.00	0.75	0.45	0.51	0.37
3	PT - 02	8287784.172	187226.690	4741.728	25.00	17.55	17.04	15.81	15.48
4	PT - 03	8286775.730	788629.427	4988.566	25.00	-	20.80	20.88	20.86
5	PT - 04	8287618.782	186235.429	4642.914	25.00	2.15	1.79	1.67	1.45
6	PT - 05	8287588.609	185300.282	4630.535	25.00	0.80	0.60	0.60	0.00
7	PT - 06	8287655.952	183914.178	4556.875	25.00	3.47	3.10	2.43	1.99
8	PT - 07	8287394.604	183228.878	4523.593	25.00	-	0.00	0.00	0.00
9	PT - 08	8287413.27	181398.031	4730.410	25.00	-	3.22	3.34	3.30
10	PT - 09	828766.013	8287366.013	4327.391	25.00	-	1.31	1.86	1.58
11	BH - 06	8287467.278	187341.617	4811.063	30.00	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
12	BH - 07	8287421.993	187432.596	4820.960	30.00	11.77	13.90	12.63	10.00
13	BH - 08	8287361.911	187501.966	4852.373	20.00	19.10	18.80	18.90	18.88
14	BH - 09	8287533.043	187260.013	1788.791	30.00	28.03	27.84	27.80	27.82
15	BH - 10	8287042.993	180896.136	4452.506	35.00	N.P.	N.P.	33.20	33.22
16	BH - 11	8286970.964	180582.997	4436.468	35.00	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
17	BH - 12	8286840.685	180528.407	4423.252	30.00	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
18	BH - 13	8286941.299	180182.573	4416.901	30.00	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
19	BH - 14	8286556.383	181166.702	4494.263	28.50	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.

*NOTA: El valor 0.00 corresponde al nivel freático a 0.00 metros de profundidad, es decir al nivel del terreno natural, en la boca del piezómetro.*

*N.P. No presenta Nivel Freático.*

#### **4.1.7. Profundidad del Techo de la Napa Freática:**

La instrumentación piezométrica que se instaló en el proyecto Tambomayo, se ejecutó en el mes de Diciembre de 2012 y Enero de 2013. Desde esa fecha se ha realizado monitoreo de los niveles freáticos en los piezómetros instalados.

Los piezómetros que se encuentran instalados en la quebrada Tambomayo (PT-01A, PT- 04, PT-05, PT-06, PT-07, PT-08 y PT-9) reportan niveles freáticos superficiales, entre los 0.00 a 3.30 metros, los que corresponden al nivel de agua del río Tambomayo.

El piezómetro PT-02, instalado en la margen izquierda de la quebrada Tambomayo, reporta un nivel de agua promedio de 15.48 metros; mientras que el piezómetro PT-03, se ha instalado en la margen izquierda de la quebrada Sahualque, con niveles freáticos promedio de 20.86 metros.

Los piezómetros instalados en la zona del botadero proyectado (BH-06, BH-07, BH-08 y BH-09), reportan niveles de agua profundos entre los 10.00 y 33.00 metros.

Finalmente, los piezómetros instalados en la zona del depósito de relaves proyectado (BH-10, BH-11, BH-12, BH-13 y BH-14), no reportan niveles freáticos, a excepción del piezómetro BH-10, el cual a partir del mes de febrero 2013 ha reportado un nivel freático profundo de 33.00 metros de profundidad en promedio.

#### **4.1.8. Zona de Recarga y Descarga:**

El relieve topográfico juega un papel importante en la recarga de los flujos de agua subterránea. En el proyecto Tambomayo la recarga de los flujos subterráneos es principalmente por el deshielo de cuerpos de nieve presentes en la cabecera de la cuenca (cerros Minaspata y Surihui), así como las

precipitaciones pluviales que se presentan con mayor intensidad en la época húmeda del año (diciembre a marzo).

El deshielo origina el nacimiento del riachuelo Tambomayo, el cual discurre a lo largo de la quebrada, recibiendo aportes de las quebradas tributarias, alimentando la zona de bofedales y filtrándose a través de las capas permeables y semi permeables.

Debido a la suave pendiente en que se desarrolla la quebrada Tambomayo, se producen estancamiento, originando los bofedales.

Debido a las infiltraciones que se producen a través de los suelos permeables y semi permeables, los flujos de agua subterránea se desarrollan únicamente en el valle fluvio glacial, teniendo como límite encajonante el basamento rocoso que se profundiza en forma de "V".

La descarga de los flujos de agua se producen precisamente en la zona de bofedales que se encuentra aguas abajo de la confluencia de la quebrada Tambomayo y quebrada Ticlla.

La manifestación de estos depósitos tipo bofedal, determina que por gradiente hidráulica, la descarga de los flujos de agua subterránea se produce en este sector, en la que la quebrada Tambomayo presenta una planicie más amplia; seguidamente la quebrada sufre un estrangulamiento en afloramientos rocosos, que finalmente hacen su entrega al río Molloco.

#### **4.1.9. Dirección del Flujo Subterráneo:**

En base a los niveles freáticos monitoreados en los piezómetros hidráulicos instalados, se ha definido la dirección del flujo de agua subterráneo en la zona del proyecto.

El flujo de agua subterránea, tiene una dirección NW, el cual se origina desde las nacientes del nevado Minaspata, y transcurre aguas abajo, hasta la confluencia de la quebrada Ticlla, donde recibe sus aportes, y finalmente su entrega al tributario Molloco.

#### 4.1.10. Formaciones Geológicas con Capacidad de Almacenamiento de Agua

##### Subterránea:

A continuación se presentan las formaciones geológicas desde el punto de vista hidrogeológico.

- ✓ **Acuífero:** Son las formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua, a través de poros o grietas, también se puede definir como una unidad permeable que puede producir agua en cantidades utilizables, acuíferos comunes son depósitos geológicos conformados por gravas y arenas no confinadas permeables.

En el proyecto Tambomayo, se ha encontrado un acuífero aguas arriba de la zona de campamentos y zona de operación proyectada. En el piezómetro PT-01 se produce el fenómeno de artesianismo, la perforación atravesó una capa de arcilla a los 10.00 metros de profundidad, con una potencia de 1.50 metros, por debajo de dicha capa de arcilla se encuentra material granular, el cual almacena flujos de agua subterránea. La perforación atravesó la capa de arcilla, rompiendo la presión confinada, el cual favorece a la salida del flujo subterráneo profundo. Por las características dadas, se define como acuífero confinado. Este fenómeno se presenta únicamente en ese sector, pues seguidamente (altura del piezómetro PT-02), la quebrada Tambomayo presenta un encañonamiento que ha interrumpido la secuencia geológica de deposición de los materiales.

- ✓ **Acuitardo:** Son aquellas formaciones geológicas semi impermeables, que almacena agua pero la transmite con mucha dificultad.

En el proyecto Tambomayo se presenta un acuitardo en todo el eje de la quebrada Tambomayo aguas abajo del piezómetro PT-02. La naturaleza de los depósitos almacenan agua, pero la composición de dichos depósitos está conformado por suelos granulares con presencia

de finos limosos y arcillosos, los cuales hacen que la transmisividad del agua subterránea sea lenta.

- ✓ **Acuífugo:** Aquellas formaciones geológicas incapaces de almacenar ni transmitir agua.

En el proyecto Tambomayo, el basamento rocoso se comporta como acuífugo, y a medida que se profundiza mejoran sus características impermeables.

#### **4.1.11. Comportamiento Hidráulico:**

Tal como se menciona en el ítem anterior, en la zona de estudio, en la parte alta de la quebrada Tambomayo, se presenta un acuífero confinado; seguidamente la quebrada presenta un encañonamiento, el cual ha sido un límite natural de la deposición de los materiales que originan el confinamiento.

Seguidamente aguas abajo, se presenta un acuitardo, es decir, los depósitos fluvio glaciares, por los cuales transcurren flujos de agua subterránea, almacenan agua, comportándose como un material drenante, pero debido a la presencia de suelos limosos y arcillosos, el flujo de agua se desarrolla lentamente.

Finalmente subyaciendo se encuentra el basamento rocoso, el cual se comporta como acuífugo, el cual los primeros metros se presenta moderadamente fracturada, sin embargo en base a las investigaciones geofísicas, a medida que se profundiza, se encuentran mejores condiciones basales.

#### **4.1.12. Secciones Hidrogeológicas Conceptuales:**

En base a los resultados de las investigaciones geológicas, hidrogeológicas y geofísicas; se ha elaborado secciones hidrogeológicas conceptuales en la zona del proyecto.

Par la elaboración de las secciones hidrogeológicas conceptuales, se ha considerado el monitoreo de los niveles freáticos en los piezómetros instalados.

A continuación se presenta las secciones hidrogeológicas desarrolladas.

#### **4.1.12.1. Sección Hidrogeológica Conceptual 1-1':**

**Ver Plano MM023-2012-GT-02: Sección Hidrogeológica Conceptual 1-1'**

La sección hidrogeológica 1-1' se ha desarrollado con la información del piezómetro PT- 01, y la línea de tomografía geoelectrica LTG-01; en dicho sector, superficialmente se presentan materiales semi impermeables, los que corresponden a depósitos bofedales, y generan su estancamiento. Subyaciendo se presenta una capa de arcilla a los 10.00 metros, el cual es una barrera impermeable del material granular y acuífero confinado que se encuentra en dicho estrato. Se estima que la potencia del material cuaternario sea aproximado entre 50.00 y 60.00 metros; subyaciendo se encuentra el basamento rocoso, el cual se comporta como limitante de los flujos de agua subterránea.

En dicho sector se presenta un nivel freático superficial aproximadamente a 0.37 metros de profundidad.

#### **4.1.12.2. Sección Hidrogeológica Conceptual 2-2':**

**Ver Plano MM023-2012-GT-03: Sección Hidrogeológica Conceptual 2-2'**

La sección hidrogeológica 2-2', se ha desarrollado con la información del el piezómetro PT-02 y línea de tomografía geoelectrica LTG-02. En dicho sector se presenta una cobertura de material cuaternario de 2.65 metros de espesor, seguidamente se encuentra el basamento rocoso. De acuerdo al monitoreo de los

piezómetros hidráulicos, el nivel freático en el piezómetro PT-02 se encuentra aproximadamente a 15.00 metros de profundidad.

La sección hidrogeológica conceptual 2-2' ha sido complementada con información proporcionada por CEDIMIN, en base a perforaciones de esterilización ejecutadas en dicho sector.

#### **4.1.12.3. Sección Hidrogeológica Conceptual 3-3':**

**Ver Plano MM023-2012-GT-04: Sección Hidrogeológica Conceptual 3-3'**

Esta sección se ha desarrollado en base al piezómetro PT-03 y las líneas de tomografía geoeléctrica LTG-07 y LTG-08.

La sección hidrogeológica corresponde al sector de la quebrada Sahualque, donde se presenta depósitos cuaternarios, formando una mezcla de suelos semi impermeables. El nivel freático de acuerdo al monitoreo en el piezómetro PT-03, se encuentra a una profundidad promedio de 20.00 metros.

#### **4.1.12.4. Sección Hidrogeológica Conceptual 4-4':**

**Ver Plano MM023-2012-GT-05: Sección Hidrogeológica Conceptual 4-4'**

La sección hidrogeológica 4-4', se ha desarrollado en base al piezómetro PT-04 y la línea de tomografía geoeléctrica LTG-04.

Los depósitos están representados por material gravas y arenas arcillosas semi impermeables, subyaciendo se presentan suelos granulares permeables, finalmente se presenta el basamento rocoso a una profundidad promedio de 70.00 metros.

El nivel freático en dicho sector se presenta a una profundidad 1.44 metros de profundidad.

#### **4.1.12.5. Sección Hidrogeológica Conceptual 5-5':**

**Ver Plano MM023-2012-GT-06: Sección Hidrogeológica Conceptual 5-5'**

La sección hidrogeológica 5-5' se ha preparado en base al piezómetro PT-05 y la línea de tomografía geoeléctrica LTG-05.

En este sector, se presenta suelos de mediana permeabilidad, correspondiente a depósitos gravosos limosos, con una potencia promedio de 60.00 metros de espesor. El nivel freático en dicho sector es 0.00, es decir, corresponde al nivel del terreno natural.

#### **4.1.12.6. Sección Hidrogeológica Conceptual 6-6':**

**Ver Plano MM023-2012-GT-07: Sección Hidrogeológica Conceptual 6-6'**

La sección hidrogeológica 6-6', se ha desarrollado en base al piezómetro PT-06, presentando superficialmente, suelos semi impermeables, conformado por depósitos gravo limosos y arcillosos.

Subyaciendo se encuentra el basamento rocoso a una profundidad de 15.00 metros de profundidad.

El nivel freático se presenta en este sector superficialmente, el cual corresponde al nivel de bofedales en dicho sector.

#### **4.1.12.7. Sección Hidrogeológica Conceptual 7-7':**

**Ver Plano MM023-2012-GT-08: Sección Hidrogeológica Conceptual 7-7'**

La sección hidrogeológica 7-7', ha tenido como base la información proporcionada por el piezómetro PT-07 y la línea de tomografía geoeléctrica LTG-10.

Los depósitos que se encuentran en dicho sector, está representado por materiales arenoso gravosos con presencia de limos. Dicho material tiene características semi impermeables a impermeables. El nivel freático se encuentra a 0.00 metros, es decir, nivel del terreno natural.

#### **4.1.12.8. Sección Hidrogeológica Conceptual 8-8':**

**Ver Plano MM023-2012-GT-09: Sección Hidrogeológica Conceptual 8-8'**

La sección hidrogeológica 8-8' se ha desarrollado en base al piezómetro PT-08, en el cual solo se encuentra una escasa cobertura, y seguidamente se presenta el basamento rocoso, con cierto grado de fracturamiento, con rangos de permeabilidad moderados a bajos. El nivel freático en dicho sector se presenta superficial y se desarrolla en los materiales cuaternarios.

## **4.2. MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO**

### **4.2.1. Modelamiento Numérico de las Aguas Subterráneas:**

Con la finalidad de conocer la dirección del agua subterránea se ha preparado un modelo numérico en condiciones de flujo en régimen transitorio, el cual busca representar en base a los datos tomados de campo el comportamiento hidrogeológico del área en estudio.

El programa de cómputo utilizado para realizar el modelo numérico es el Visual MODFLOW, desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América, el cual es un programa aceptado por especialistas, en el que se emplea para la solución de ecuaciones de flujo por el método numérico de diferencias finitas.

El polígono seleccionado como área de estudio con fines hidrogeológicos, corresponde a las siguientes coordenadas UTM WGS-84:

E: 178,119.784	N: 8'283,461.746
E: 178,119.784	N: 8'291,586.850
E: 192,555.902	N: 8'291,586.850
E: 192,555.902	N: 8'283,461.746

El dominio de la zona activa y no activa del modelo numérico abarca un área de 11,729.5 Ha, la zona activad del modelamiento numérico de las aguas subterráneas abarca un área de 5028.181 Ha.

#### **4.2.2. Elaboración del Modelo Matemático:**

##### **4.2.2.1. Discretización del Modelo Matemático:**

La discretización del modelo numérico se ha efectuado en un área de 5,028.181 Ha por 15 m, de profundidad a partir del punto más bajo de la quebrada Tambomayo, asignando 93 celdas para las filas y 133 celdas para las columnas, así como 15 capas verticales, haciendo un total de 185,535 celdas.

Figura N° 1.0: Discretización en planta del Modelo Numérico

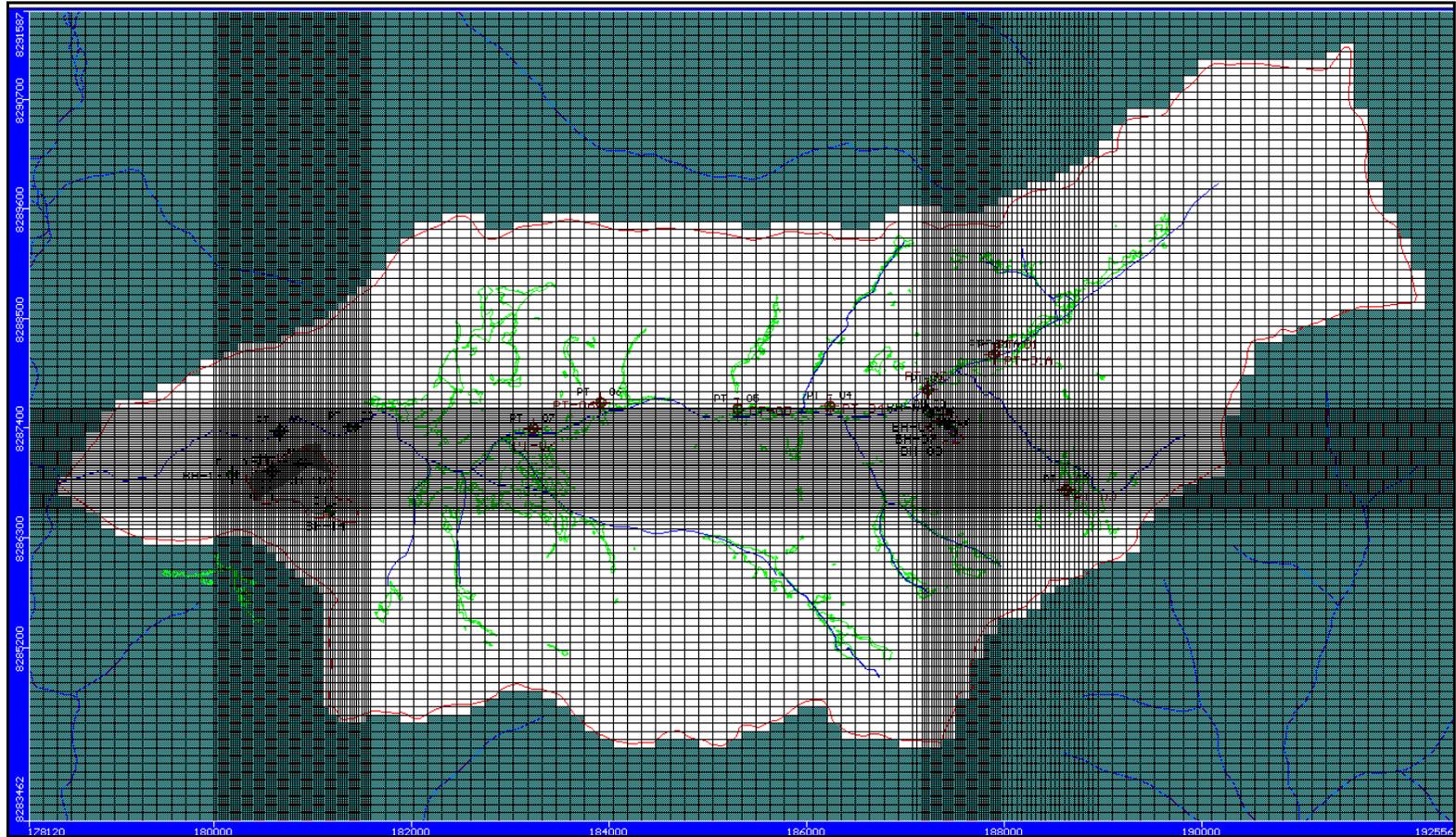


Figura N° 2.0: Discretización Vertical del Modelo Numérico (Dirección Este-Oeste)

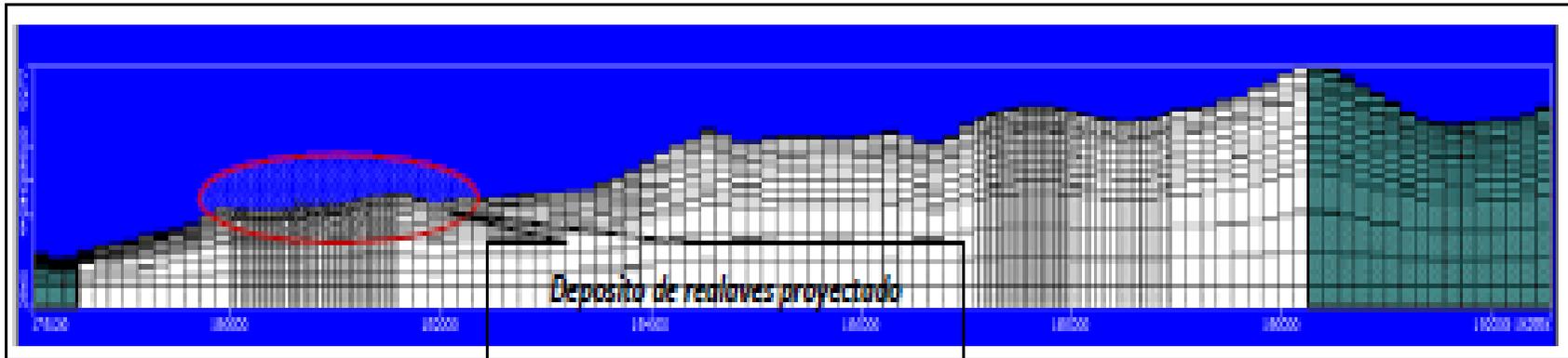
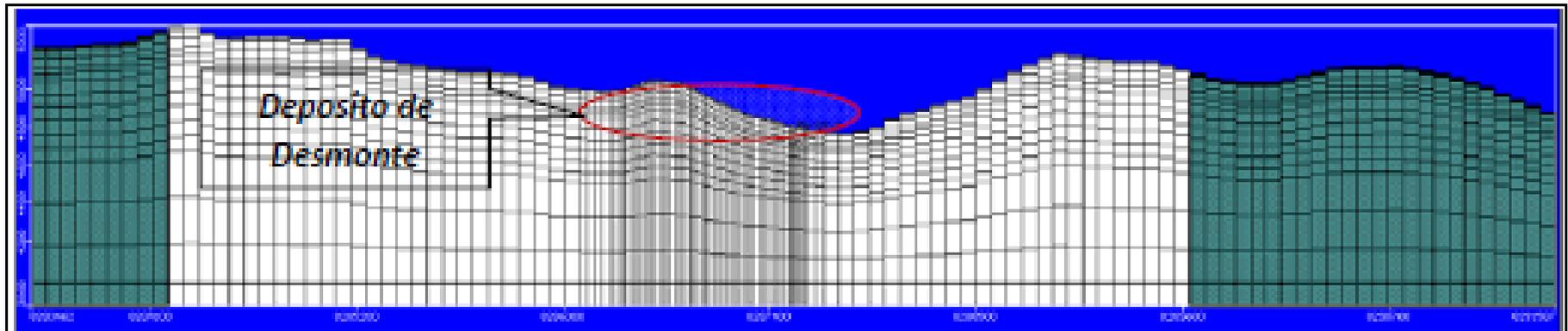


Figura N° 3.0: Discretización Vertical del Modelo Numérico (Dirección Norte-Sur)



#### **4.2.2.2. Topografía Superficial:**

En la zona de estudio resalta la sucesión de montañas, con altitudes que fluctúan entre los 2,800 a 3,811 m.s.n.m., y pendientes que varían entre 30 – 70%, quebradas y planicies altas, con pendientes relativamente bajas.

**Figura N° 4.0: Topografía del Modelo Numérico**

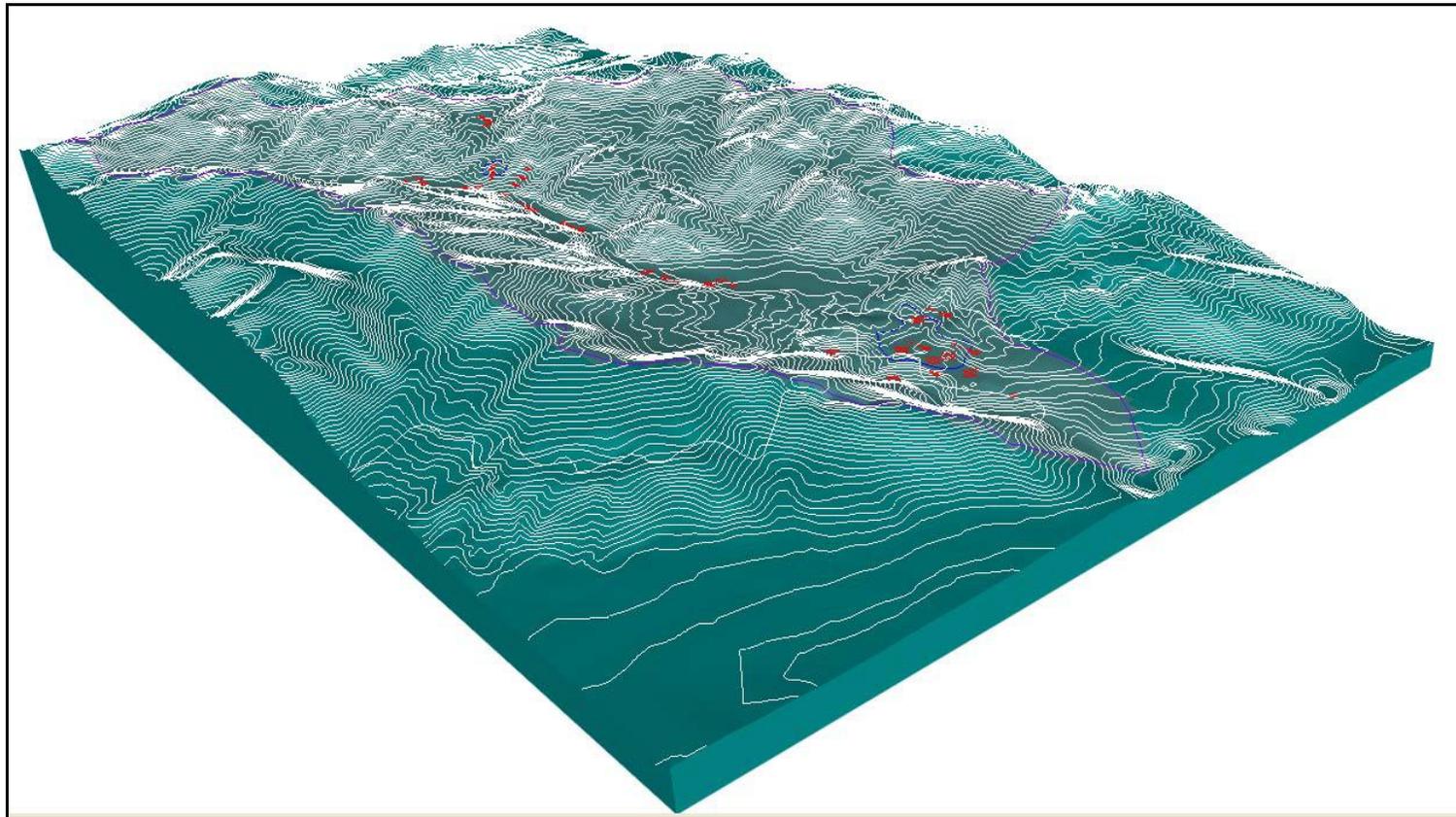
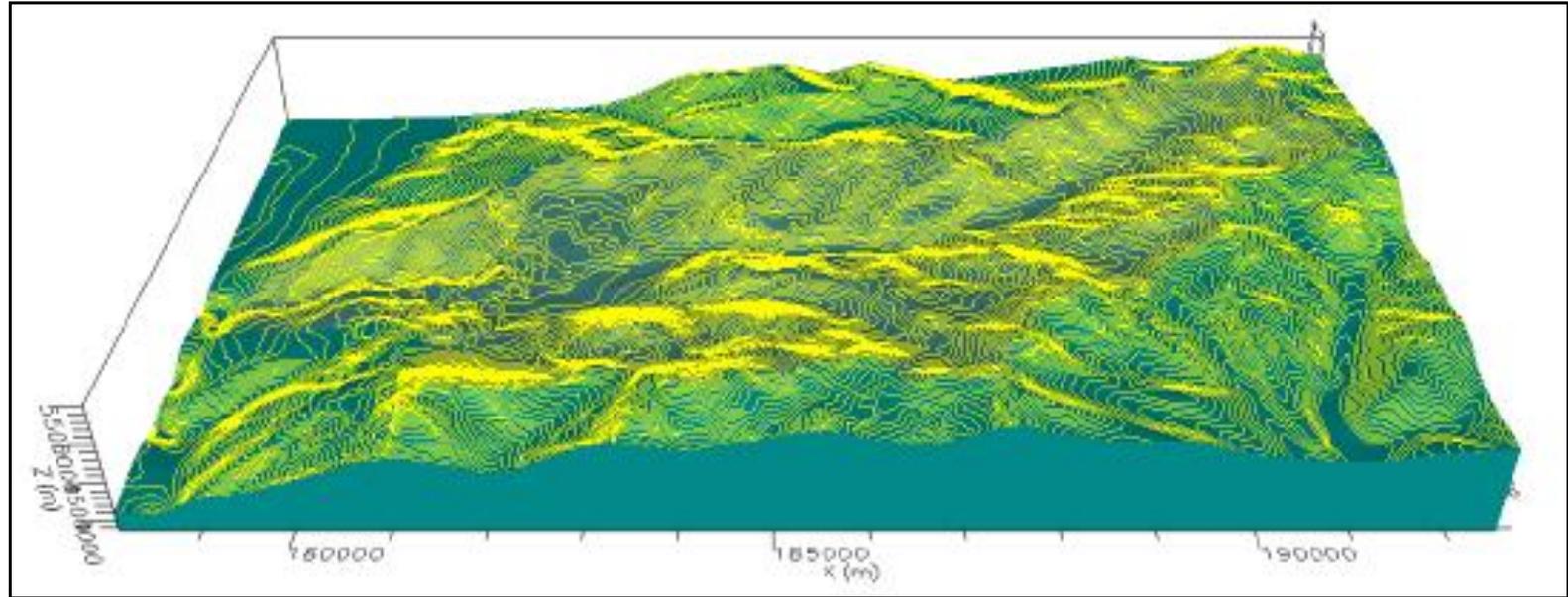


Figura N° 5.0: Topografía del Modelo Numérico

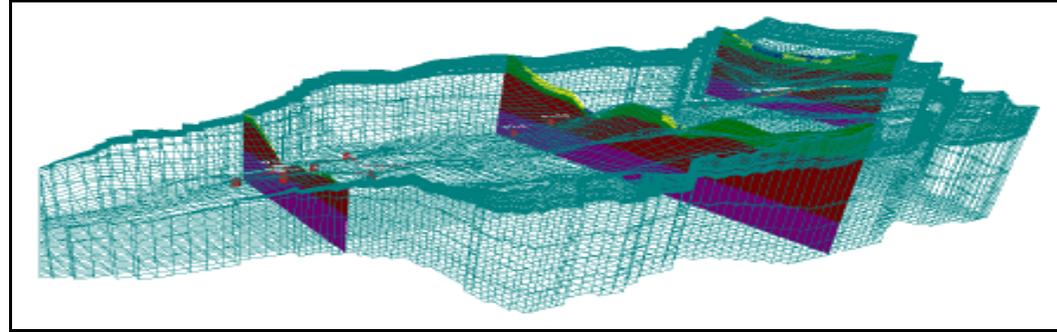


#### 4.2.2.3. *Parámetros Hidrogeológicos:*

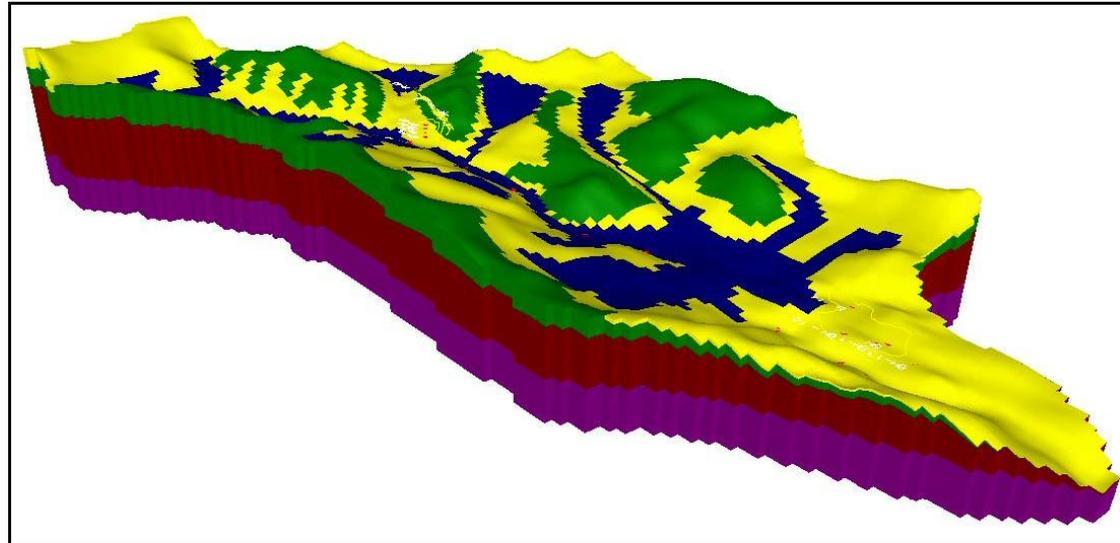
La conductividad hidráulica ( $K$ ) de un material es un parámetro que expresa la facilidad para que el agua circule a su través. Es por tanto, el principal parámetro que caracteriza las propiedades hídricas de los materiales en el suelo o en el macizo rocoso y uno de los que registra mayores variaciones en función del tipo de material.

En la Figura N° 6.0 y 7.0, se muestra la distribución de la conductividad hidráulica en todas la capas asignadas al modelo numérico, producto de la interpolación de 5 valores pre asignados de conductividad hidráulica.

**Figura N° 6.0: Sección de la Distribución Espacial de la Conductividad Hidráulica**



**Figura N° 7.0: Distribución Espacial de la Conductividad Hidráulica**



**Cuadro N° 12.0 Parámetros de Conductividad Hidráulica según Litología**

Área	Tipo de material/Alteración	Permeabilidad k (cm/seg.)		
		$k_x$ (cm/seg.)	$k_y$ (cm/seg.)	$k_z$ (cm/seg.)
	Depósitos Cuaternarios	$4.08 \times 10^{-4}$	$4.08 \times 10^{-4}$	$4.08 \times 10^{-3}$
	Depósitos de Arcilla	$7.09 \times 10^{-6}$	$7.09 \times 10^{-6}$	$7.09 \times 10^{-7}$
	Toba/Andesítica fracturada	$3.88 \times 10^{-3}$	$3.88 \times 10^{-3}$	$3.88 \times 10^{-4}$
	Toba/Dacítica alterada	$1.72 \times 10^{-4}$	$1.72 \times 10^{-4}$	$1.72 \times 10^{-3}$
	Toba/Andesítica- Dacítica	$1.5 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-6}$
	Roca Volcánica Fresca	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-7}$

**4.2.2.4. Condiciones Iniciales del Nivel Piezométrica:**

Las condiciones iniciales de los niveles freáticos han sido tomadas a partir de mediciones de los niveles piezométricos realizadas en campo en los piezómetros instalados y de los alumbramientos de agua subterránea. La siguiente figura, muestra la distribución de los niveles piezométricos luego de la interpolación. Esta información es utilizada para la calibración del modelo numérico.

**Figura N° 8.0: Piezómetros Instalados en el proyecto Tambomayo**

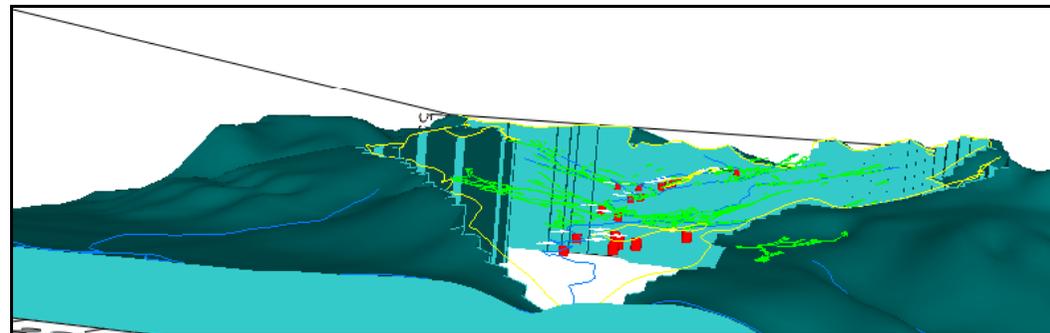
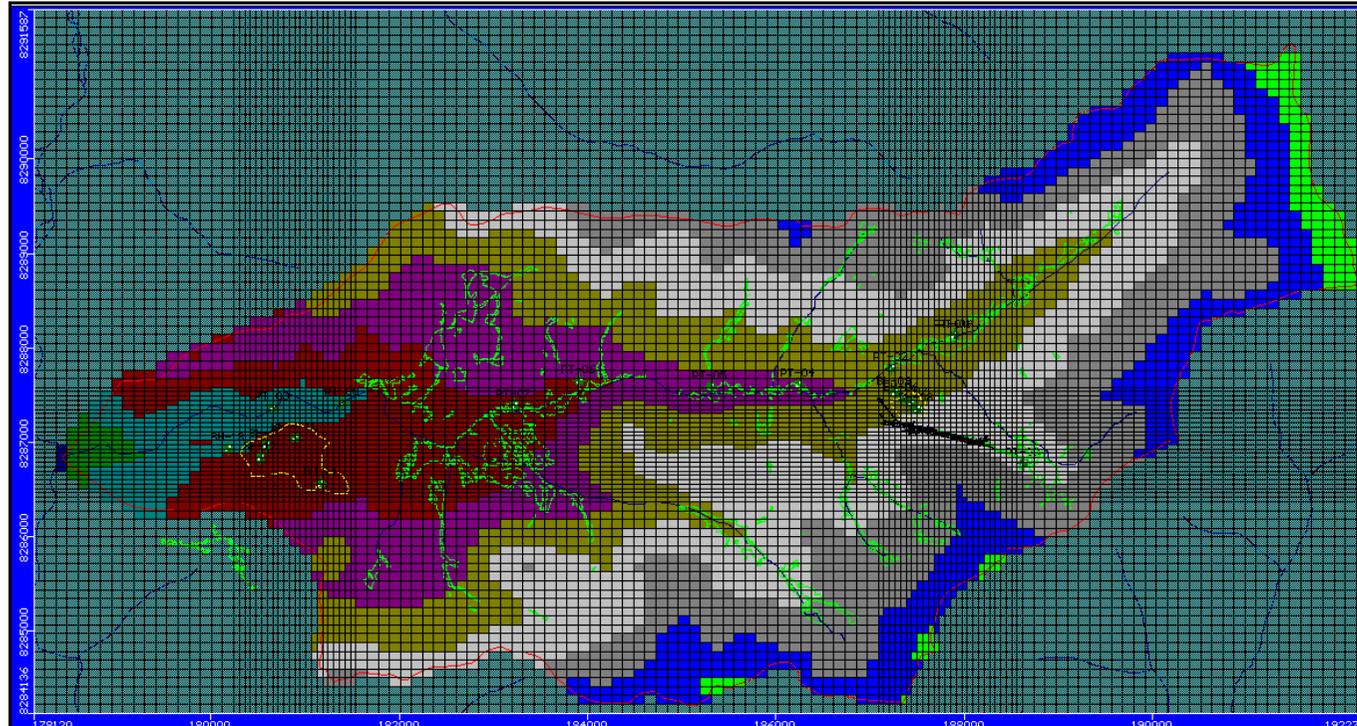


Figura N° 9.0: Niveles Iniciales de Agua Subterránea



#### 4.2.2.5. Condiciones de Frontera:

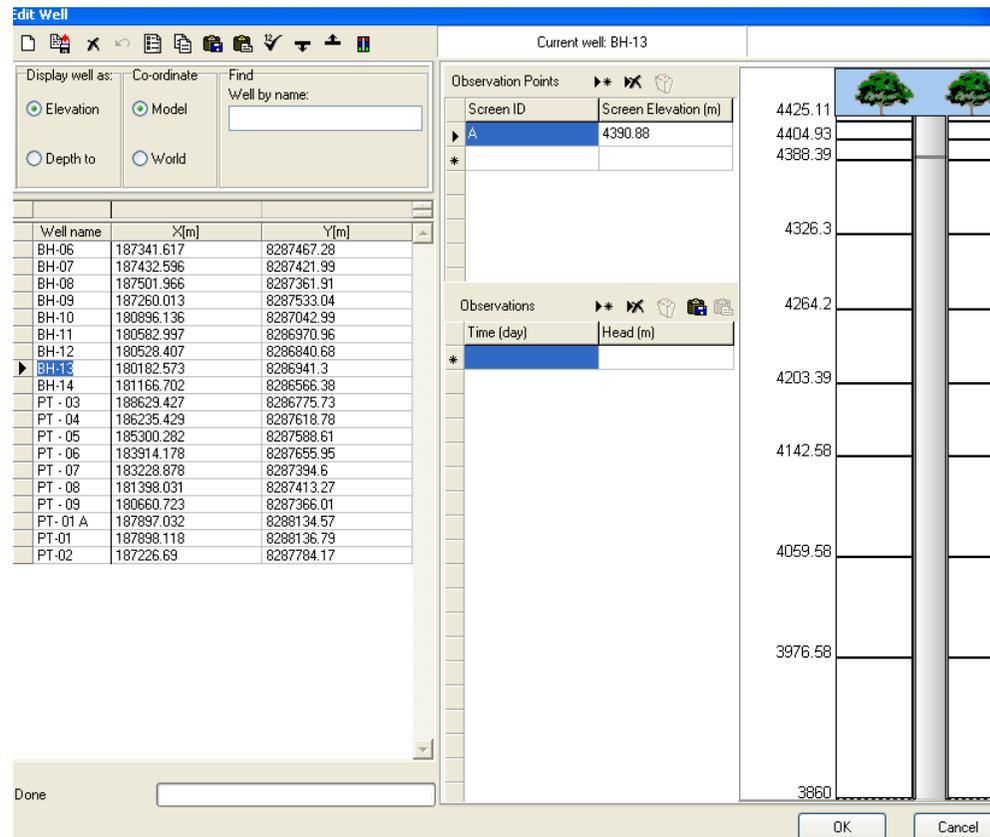
Las condiciones de frontera empleadas en el modelo numérico son de dos tipos: carga constante y carga general. Estas condiciones de frontera se utilizaron para el modelo en régimen Transitorio.

La condición de frontera de carga constante se ha colocado en los bofedales y la condición de frontera de carga general se ha colocado como fuente de aporte de agua al sistema.

### 4.2.3. Pozos de Observación

Los pozos de observación o puntos de control son los piezómetros instalados dentro del dominio del modelo hidrogeológico.

**Figura N° 10.0: Niveles de agua ingresadas al modelo matemático**



### 4.3. DISCUSIÓN

La zona del proyecto se encuentra en la quebrada Tambomayo, a una altitud promedio de 4,500 a 5,000 msnm.

Geológicamente la quebrada Tambomayo está flanqueada por afloramientos rocosos, pertenecientes a la formación Sencca y formación Orcopampa.

La quebrada Tambomayo se encuentra tapizada por materiales del cuaternario reciente, conformado por suelos semi impermeables. La quebrada Tambomayo se desarrollada con una pendiente suave, generando el estancamiento de los flujos de agua superficiales, los cuales alimentan a los bofedales del sector.

Los flujos de agua superficiales se generan al deshielo de las masas de nieve en la parte alta de la microcuenca (cerros Minaspatá y Surihuiri); así como las precipitaciones que se presentan en la época húmeda (diciembre a marzo).

Para el desarrollo del estudio Hidrogeológico del proyecto Tambomayo, se han realizado las siguientes investigaciones de campo:

- ✓ 5.840 Km. de Líneas de Tomografía Geoeléctrica
- ✓ 19 Perforaciones Diamantinas con recuperación continua de muestras
- ✓ 95 Ensayos de Permeabilidad
- ✓ Instalación de 19 piezómetros hidráulicos
- ✓ Monitoreo de Niveles Freáticos

Las líneas de tomografía geoeléctrica, determinan que en la quebrada Tambomayo, superficialmente se encuentran suelos saturados, con una potencia promedio hasta los 10.00 metros, el cual corresponde al eje de la quebrada y zona de bofedales y depósitos fluvio glaciares. Subyaciendo se presenta el basamento rocoso con valores de resistividad mayores.

Las perforaciones diamantinas ejecutadas en el proyecto, determinan que superficialmente existe un material cuaternario con presencia de limos y arcillas de un espesor promedio de hasta 8.00 metros aproximadamente, correspondiente a los

depósitos fluvioglaciares que han tapizado la quebrada Tambomayo; subyaciendo se encuentran depósitos gravosos y arenosos con un espesor promedio de 10.00 metros

El basamento rocoso se presenta a profundidad. Los registros de perforación PT-02, PT-06, PT-08 y PT-09, han atravesado el basamento rocoso, estando a una profundidad variable entre los 1.50 y 10 metros de profundidad.

Los ensayos de permeabilidad ejecutados, determinan que los estratos superiores tienen rangos de permeabilidad moderados a bajos ( $k=10^{-5}$  a  $10^{-8}$  cm/seg); seguidamente los estratos arenosos y gravosos poseen permeabilidades moderadas a bajas ( $k=10^{-2}$  a  $10^{-4}$  cm/seg), y finalmente el basamento rocoso con rangos de permeabilidad moderado ( $k=10^{-3}$  cm/seg).

Con la finalidad de llevar un monitoreo de los niveles freáticos, en todas las perforaciones ejecutadas, se ha instalado piezómetros hidráulicos de la misma profundidad de la perforación.

Luego de la evaluación en base a las investigaciones geológicas e hidrogeológicas, los flancos rocosos de la quebrada Tambomayo, se profundizan en forma de "V" o triángulo invertido, el cual se comporta como una barrera encajonante donde se han acumulado los depósitos cuaternarios.

Los flujos de agua subterránea se recarga por las filtraciones que se generan en la parte alta de la quebrada, producto del deshielo y el escurrimiento del río Tambomayo.

Debido a la deposición de material en la parte alta de la quebrada Tambomayo, se presenta un acuífero confinado, el cual se encuentra por debajo de una capa de arcilla. El acuífero confinado se desarrolla en suelos granulares y arenosos.

El acuífero confinado se presenta únicamente en la parte alta de la quebrada

Tambomayo. Seguidamente la quebrada sufre un encañonamiento, el cual ha limitado la deposición de los materiales geológicos que favorecen a la existencia de un acuífero.

En la parte baja de la quebrada, se presentan un acuitardo, que es la formación geológica capaz de retener agua pero la transmite con dificultad. La quebrada Tambomayo está tapizada por suelos gravosos arenosos con presencia de finos limosos arcillosos, generando un medio semi impermeable, capaz de retener agua pero no de transmitirla.

La concentración de hierro y manganeso, en los piezómetros PT-01, PT-01A, BH-7 y PT-02 ubicados en el área del proyecto se encontró superando los ECA correspondientes a la categoría 3; la concentración de estos parámetros disminuye en la parte baja de la microcuenca Tambomayo donde se encuentra por debajo de los ECA, observándose que en el punto PT-09 ubicado en la parte más baja de dicha microcuenca la concentración de estos parámetros superó ligeramente los ECA respectivos.

#### **4.3.1. Investigaciones Geofísicas por medio de Líneas de Tomografías**

##### **Geoeléctricas:**

***Ver Plano MM023-2012-GT-01: investigaciones Hidrogeológicas Proyecto Tambomayo***

Con la finalidad de conocer las condiciones geológicas e hidrogeológicas de los materiales que subyacen en el proyecto Tambomayo, GEOSERVICE ha programado las siguientes investigaciones de campo:

- ✓ Investigaciones Geofísicas por medio de líneas de tomografía geoeléctrica
- ✓ Perforaciones diamantinas con recuperación continua de muestras
- ✓ Ensayos de Permeabilidad en las perforaciones diamantinas
- ✓ Instalación de piezómetros hidráulicos

Para los fines del estudio y caracterización hidrogeológica, se han ejecutado investigaciones geofísicas por medio de líneas de tomografía geoeléctrica. El método de Tomografía Geoeléctrica, en su modalidad de Resistividad de Alta Resolución en dos dimensiones (R2D), es una técnica recientemente desarrollada para la investigación de áreas con anomalías complejas, donde el empleo de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), Georadar u otras técnicas de Resistividad no permiten obtener información de detalle en Dos Dimensiones (R2D).

La Tomografía Eléctrica consiste en obtener una serie de medidas de resistividad aparente con un micro dispositivo tetraelectrónico determinado y con una separación constante entre electrodos; e ir variando las distancias entre los pares de electrodos emisor-receptor por múltiplos de un valor, de tal forma que el resultado final será una sección o corte a varios niveles de profundidad. La resistividad es una propiedad que poseen las formaciones geológicas y dependen fundamentalmente de cuatro variables: porosidad, nivel de saturación, grado de litificación y composición mineralógica. Los resultados se vuelcan en pseudo secciones de resistividades aparentes conformando de este modo una malla en dos dimensiones. Una pseudo sección constituye una sección con curvas de isoresistividad que reflejan cualitativamente la variación espacial (2D) de resistividad aparente en el perfil investigado.

En el siguiente cuadro se presenta las líneas de tomografía geoeléctrica ejecutadas.

**Cuadro N° 13.0: Líneas de Tomografía Geoeléctrica**

Numero	Línea de Tomografía Geoeléctrica	Longitud Ejecutada (m)
1	LTG-1	360
2	LTG-2	220
3	LTG-3	200
4	LTG-4	210

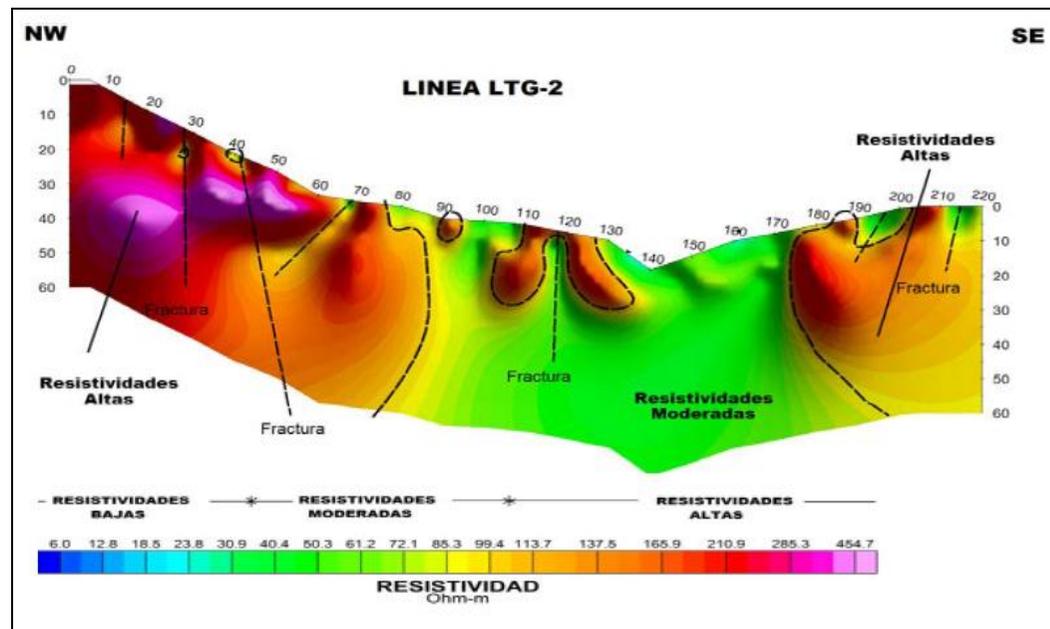
5	LTG-5	310
6	LTG-6	310
7	LTG-7	210
8	LTG-8	510
9	LTG-9	410
10	LTG-10	1060
11	LTG-11	910
12	LTG-12	610
13	LTG-13	520
<b>Total</b>		<b>5,840</b>

#### 4.3.1.1. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-1:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-1 con 360 metros de longitud, se ejecutó en la zona de bofedales aguas arriba del campamento Tambomayo.

Superficialmente presenta con dirección SE, zonas saturadas (color azul y celeste), las que corresponden a la zona del río Tambomayo y la zona de bofedales. Hacia el NW se presentan suelos más resistivos que representan a la zona de material coluvial y macizo rocoso. Subyaciendo se presentan materiales moderada a altamente resistivos que representan el macizo rocoso. Se presentan zonas saturadas relacionadas a filtraciones desde la superficie a través del fracturamiento del macizo rocoso. A continuación se presenta la figura de la LTG-1.

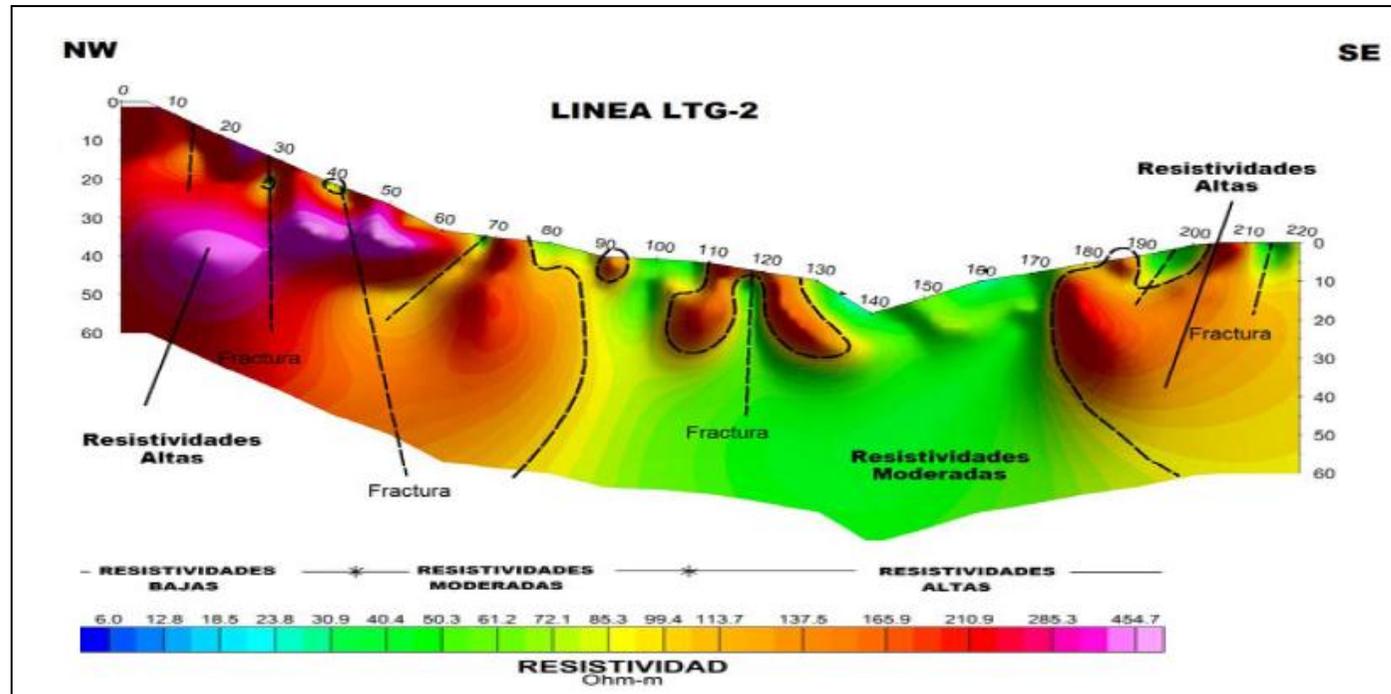
**Figura N° 11.0. Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-1**



#### 4.3.1.2. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-2:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-2 con 220 metros de longitud, se ha ejecutado muy próxima aguas arriba de la garita de ingreso al campamento Tambomayo. Presenta zonas con moderadas a altas resistividades. Las resistividades menores a 100 ohm-m, corresponde a zonas saturadas que representa el eje del río Tambomayo y zonas adyacentes. Hacia el lado NW se presentan materiales con resistividades altas, representando el macizo rocoso existente en ese sector. A continuación se presenta la figura de la LTG-2.

Figura N° 12.0. Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-2



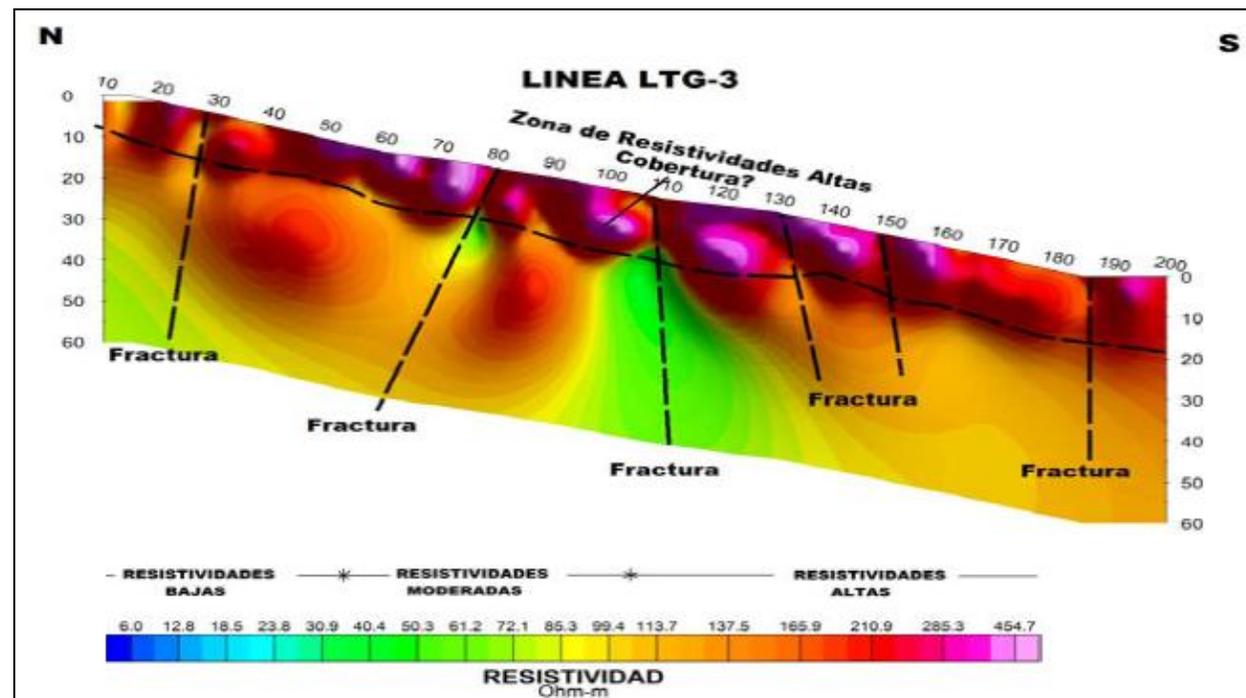
#### 4.3.1.3. Línea de Tomografía Geoelectrica LTG-3:

La línea de tomografía geoelectrica LTG-3 con 200 metros de longitud, se ejecutó aguas abajo de la zona de campamentos del proyecto Tambomayo.

La línea corresponde a la ladera margen derecha de la quebrada Tambomayo, donde se presentan resistividades altas, que corresponde al material coluvial y macizo rocoso. Subyaciendo se presentan zonas menos resistivas que están relacionadas a zonas saturadas productos de filtraciones por medio de sistema de fracturas del macizo rocoso.

A continuación se presenta la figura de la LTG-3.

**Figura N° 13.0: Sección de Tomografía Geoelectrica LTG-3**



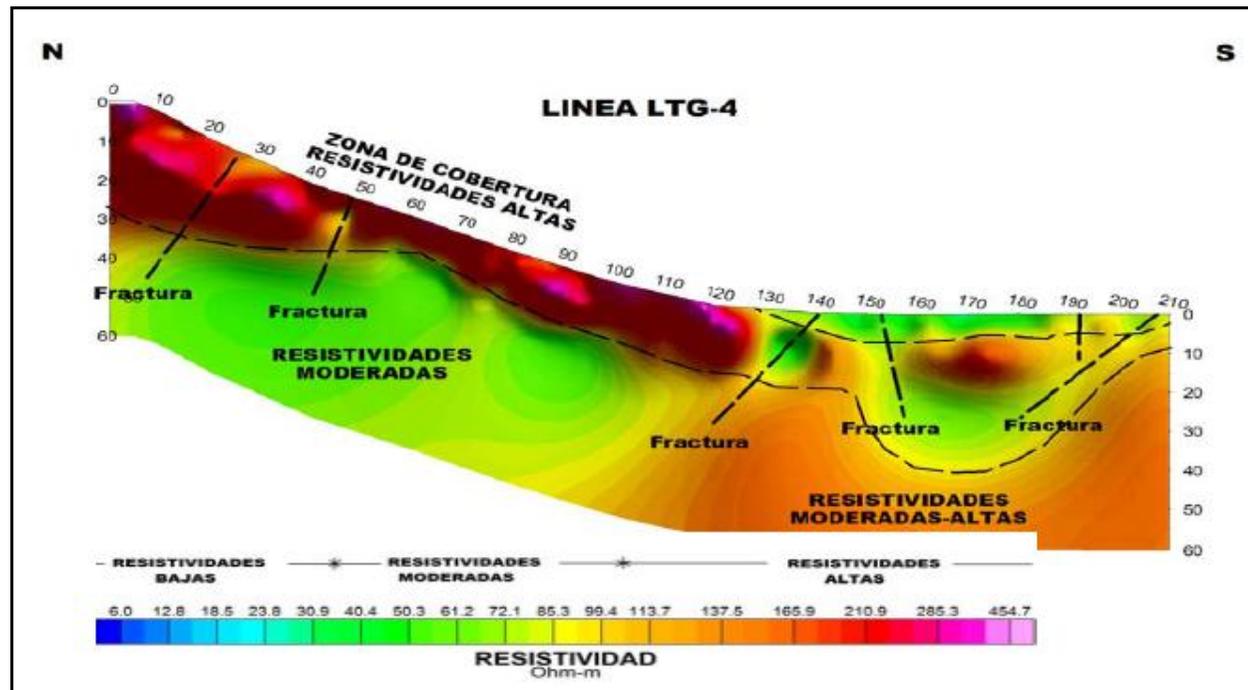
#### 4.3.1.4. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-4:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-4 con 210 metros de longitud, se ejecutó aguas abajo de la confluencia del río Tambomayo y la quebrada de la margen izquierda por debajo del campamento Tambomayo.

En el lado Sur de la sección, se encuentran suelos de baja resistividad, que corresponde a la quebrada y río Tambomayo. Hacia el lado Norte, se presentan zonas de mayor resistividades, correspondiente al material coluvial y macizo rocoso de la margen derecha.

A continuación se presenta la figura de la LTG-4.

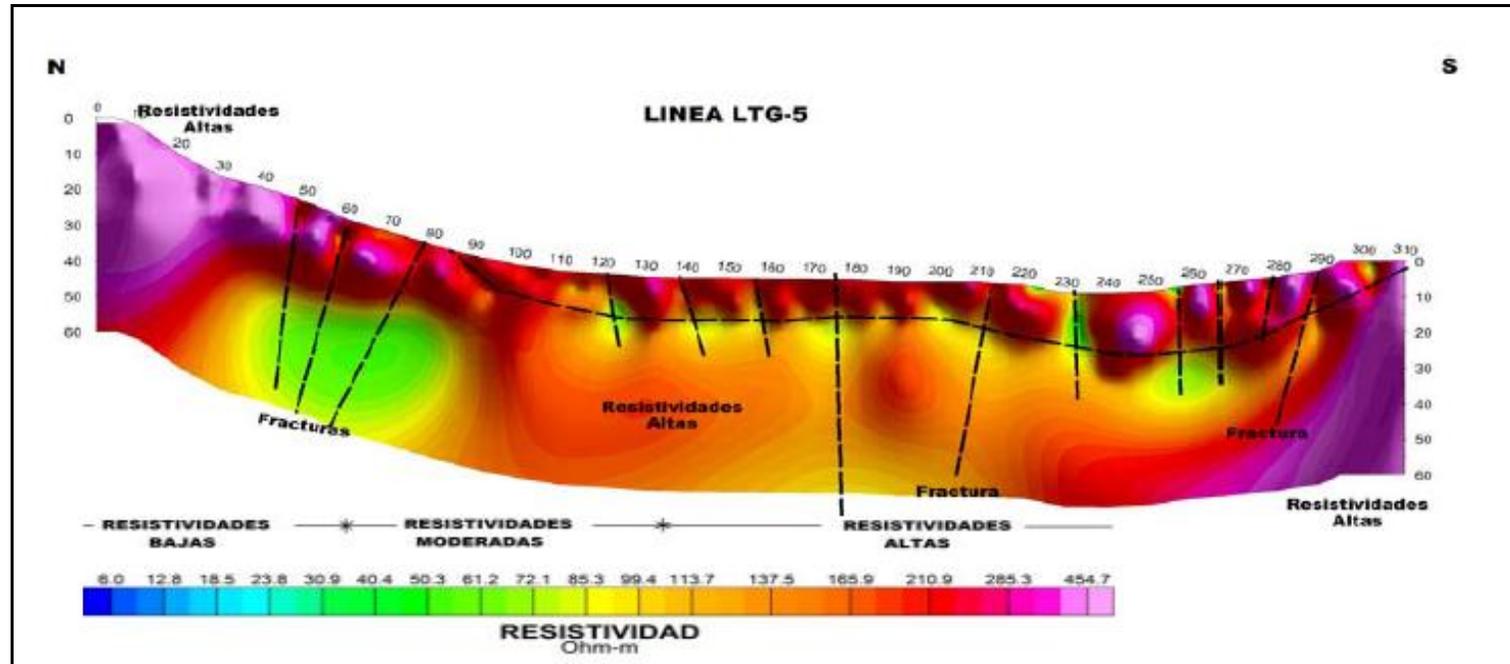
**Figura N° 14.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-4**



#### 4.3.1.5. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-5:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-5 con 310 metros de longitud, se ejecutó aguas abajo de la línea LTG-4. Superficialmente presenta resistividades altas, que corresponde al material coluvial y macizo rocoso. Asimismo en el eje de la quebrada, presenta resistividades bajas, que corresponde al río Tambomayo. A profundidad se presentan materiales más resistivos que representan al macizo rocoso. A continuación se presenta la figura de la LTG-5.

Figura N° 15.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-5

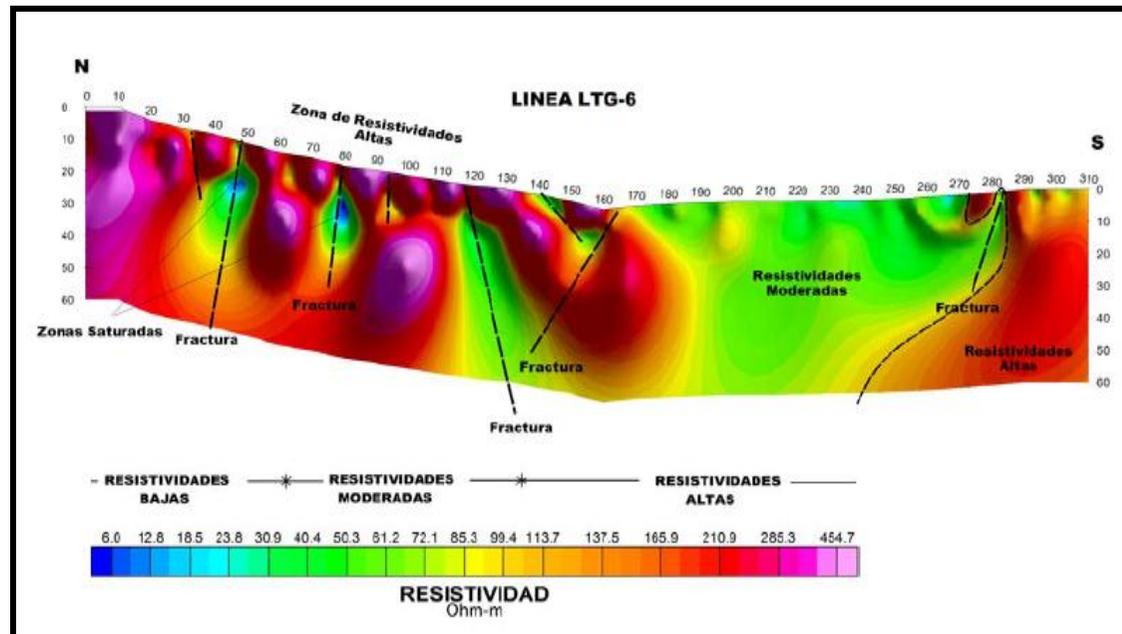


#### 4.3.1.6. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-6:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-6 con 310 metros de longitud, se ejecutó aguas abajo de la línea LTG-5. Tal como se muestra en la siguiente figura, la parte llana corresponde a la zona de bofedales y río Tambomayo, con resistividades bajas menores a 85.3 ohm-m (color verde).

Hacia el Norte (Margen derecha de la quebrada), se presentan resistividades mayores, las cuales corresponden a los depósitos cuaternarios y subyaciendo se encuentra el macizo rocoso. Se puede apreciar bolsones de agua o zonas saturadas en el macizo rocoso, la cual representa sistema de fracturas y almacenamiento puntual de agua. A continuación se presenta la figura de la LTG-6.

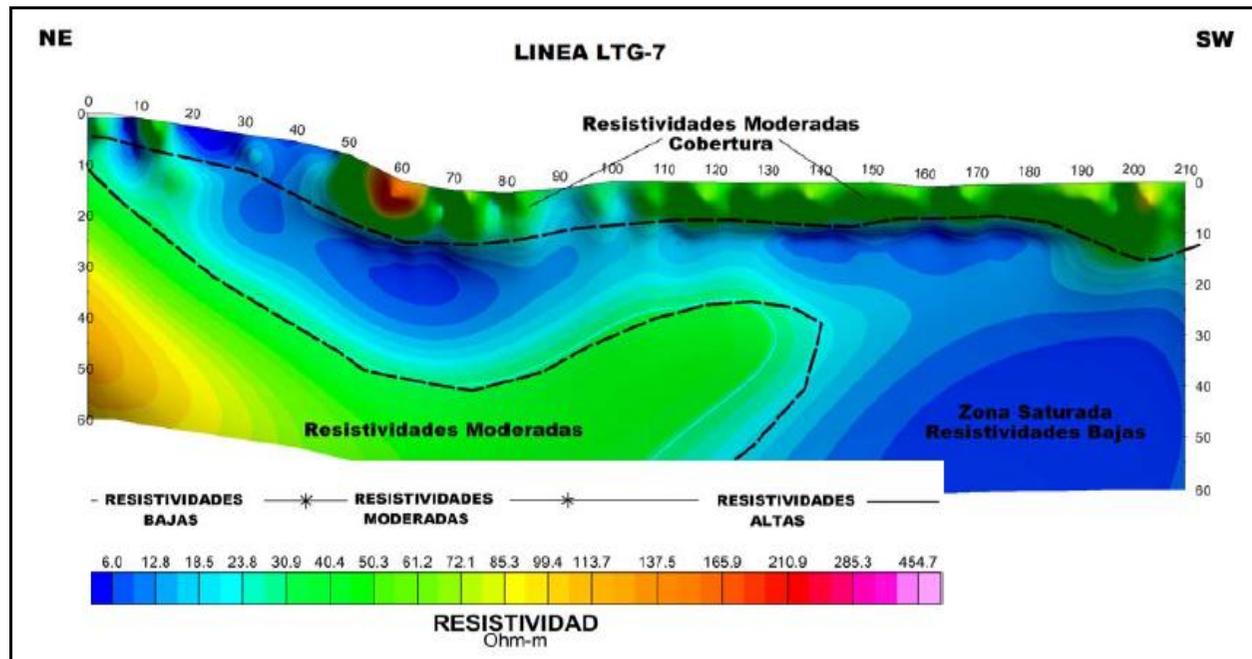
Figura N° 16.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-6



#### 4.3.1.7. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-7:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-7 de 210 metros de longitud, se ejecutó aguas arriba de la zona de campamentos del proyecto Tambomayo, en la quebrada Sahualque. Superficialmente se encuentran materiales de resistividades bajas a moderadas (color verde), que corresponde la zona de bofedales, subyaciendo se encuentra materiales menos resistivos y saturados (color azul), lo que representa a la profundidad en que se encuentra el nivel freático de dicho sector de estudio. A continuación se presenta la figura de la LTG-7.

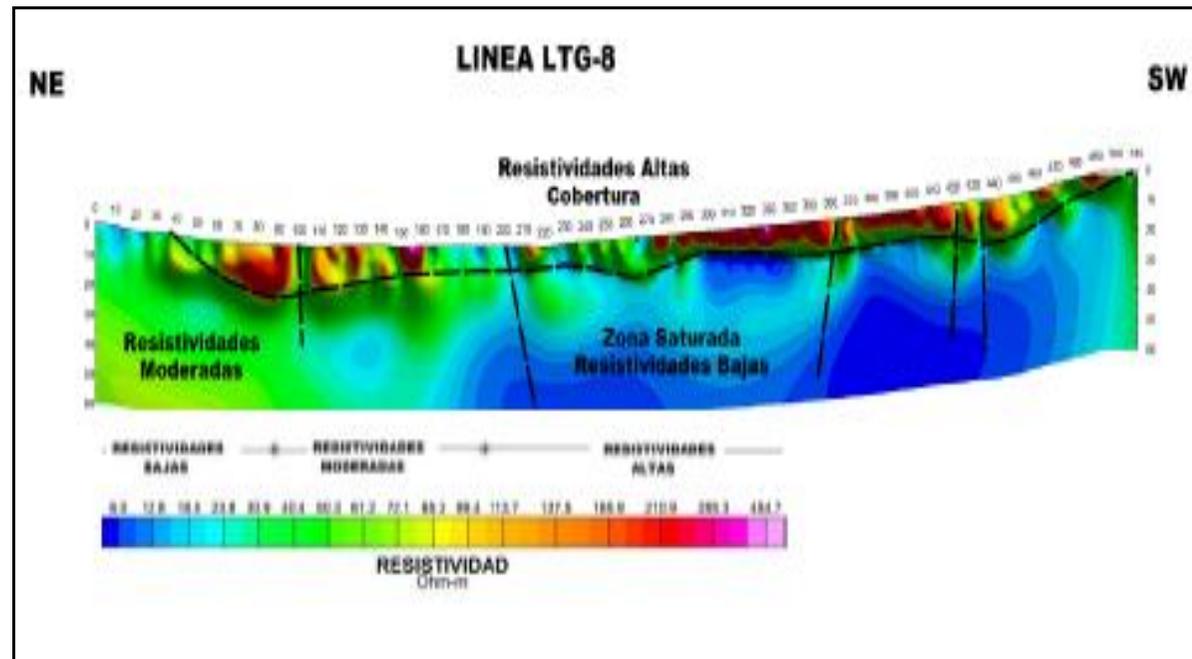
Figura N° 17.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-7



#### 4.3.1.8. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-8:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-8 de 510 metros de longitud, se ha ejecutado aguas arriba de la línea tomográfica LTG-7. En el sector central de la línea tomográfica, se puede diferenciar materiales con resistividades bajas, los cuales corresponden a la zona de bofedales y eje de quebrada, seguidamente, a ambos flancos de la quebrada se encuentran materiales con mayores resistividades, que corresponden a materiales cuaternarios. Subyaciendo se encuentran resistividades menores con zonas saturadas. A continuación se presenta la figura de la LTG-8.

Figura N° 18.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-8

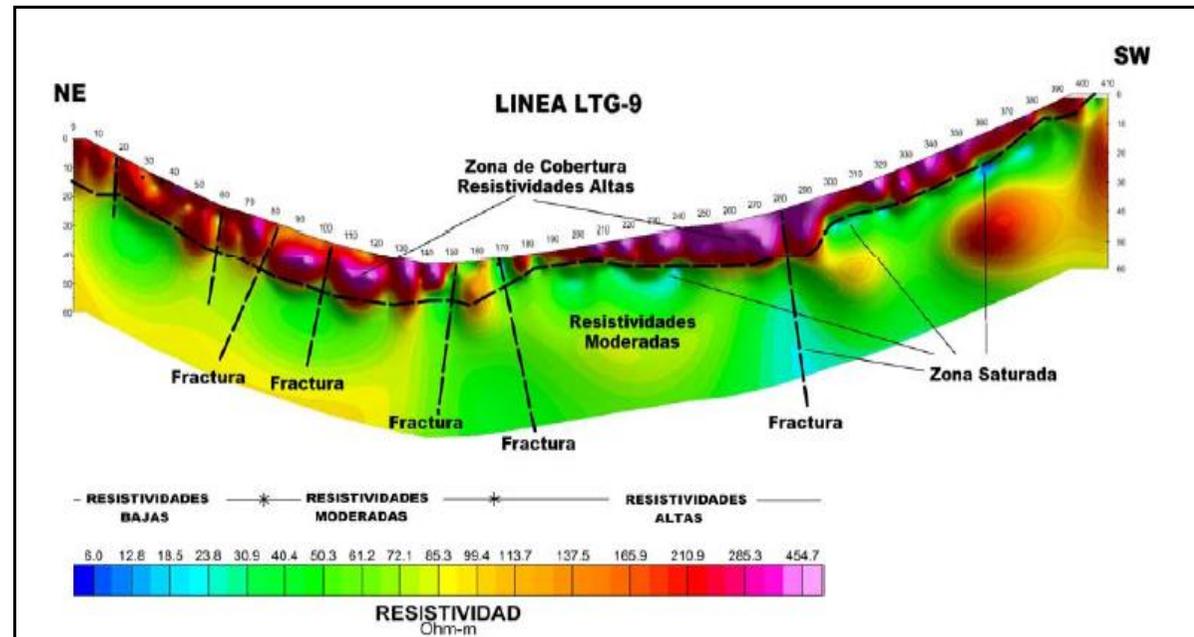


#### 4.3.1.9. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-9:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-9 con 410 metros de longitud, se ejecutó en el sector medio de la quebrada Ticlla, aguas arriba de la confluencia con la quebrada Tambomayo. En el eje de la sección, se puede apreciar materiales de resistividad moderada a baja, que corresponde al eje de quebrada; seguidamente en ambos flancos se presentan materiales con resistividades altas, que representa el macizo rocoso.

Subyaciendo se presentan zonas de moderadas resistividades, que están relacionadas al sistema de fracturas de la roca, por donde se infiltran flujos de agua puntuales. A continuación se presenta la figura de la LTG-9.

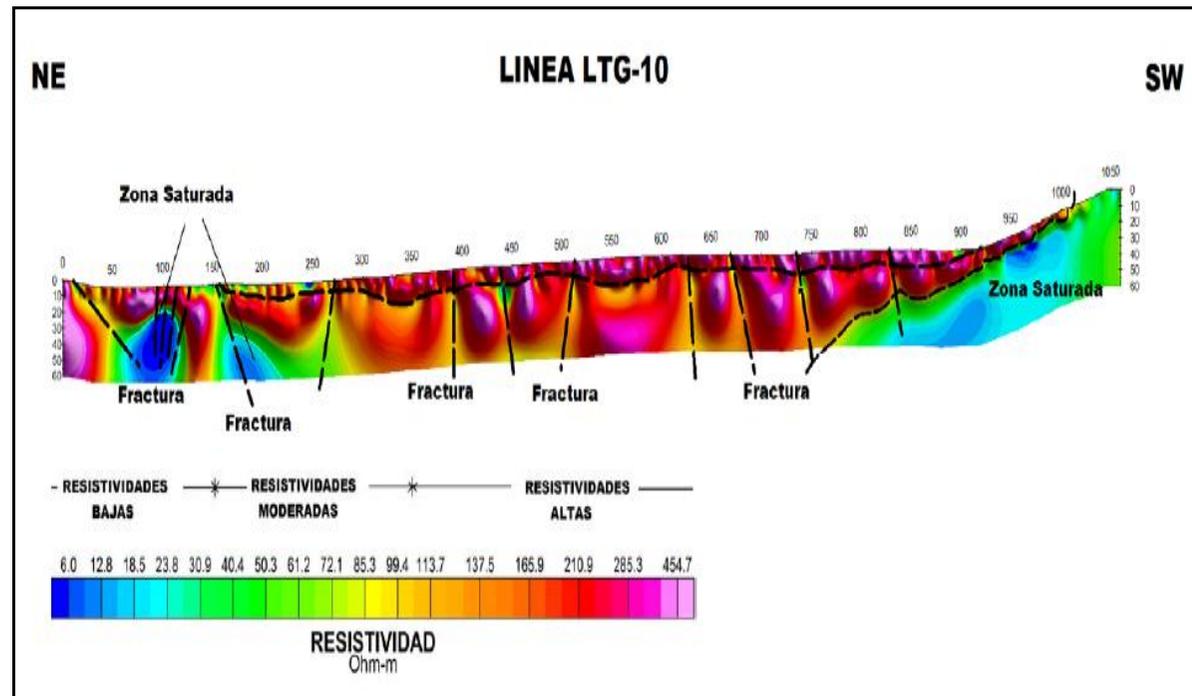
**Figura N° 19.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-9**



#### 4.3.1.10. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-10:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-10 se ha ejecutado aguas abajo de la línea LTG-9, en el sector antes del ingreso de la quebrada Ticlla a la quebrada Tambomayo. Superficialmente se encuentran materiales resistentes, y puntualmente, se presentan resistividades, que corresponden al eje de quebrada por donde discurre un riachuelo. Subyaciendo se encuentran materiales con mayores resistividades que corresponden al macizo rocoso, asimismo se presentan zonas saturadas a profundidad, las cuales están relacionadas al sistema de fracturas y agrietamientos de la roca. A continuación se presenta la figura de la LTG-10.

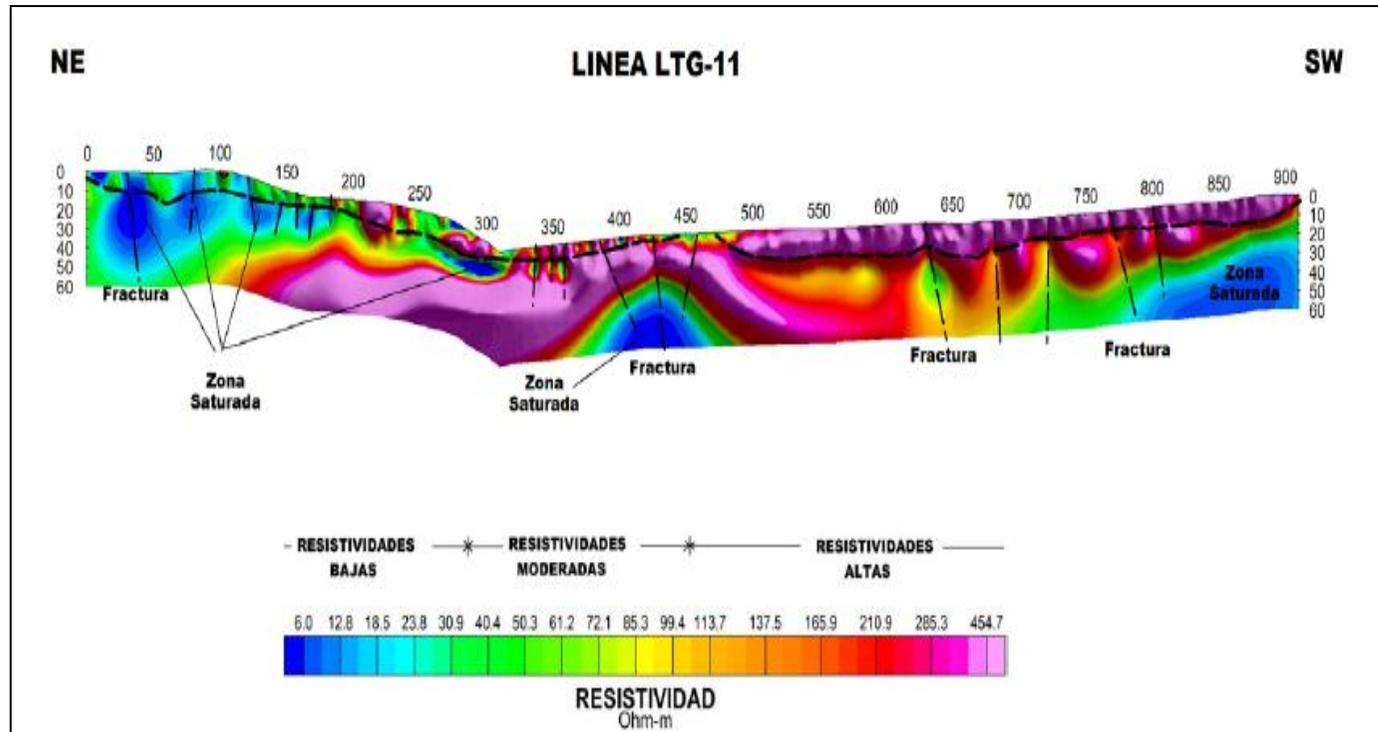
Figura N° 20.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-10



#### 4.3.1.11. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-11:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-11 de 900 metros de longitud, se ejecutó aguas abajo de la confluencia de la quebrada Ticlla y quebrada Tambomayo. Hacia el lado SW se presenta, superficialmente material de resistividades altas, sin embargo desde el eje de la quebrada hacia el NE, se presentan materiales con resistividades bajas y parcialmente saturadas. A continuación se presenta la figura de la LTG-11.

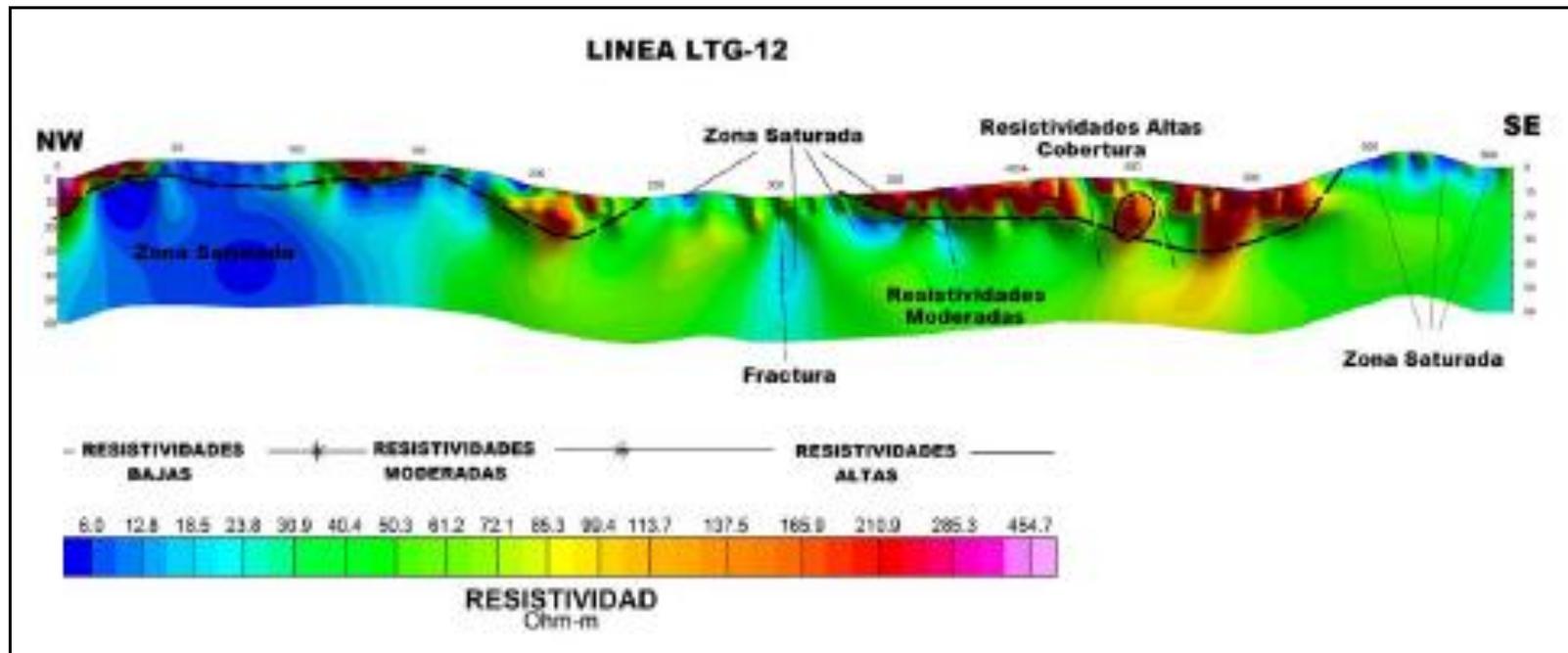
Figura N° 21.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-11



#### 4.3.1.12. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-12:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-12 con una longitud de 610 metros, se ejecutó en la zona de bofedales de la margen derecha de la quebrada Tambomayo, frente a la confluencia de la quebrada Ticlla. Superficialmente se presentan materiales saturados, que representan a la zona de bofedales, y ocasionalmente materiales con mayores resistividades que son afloramientos de roca. Subyaciendo se presentan materiales menos resistivos y zonas saturadas, las que están relacionadas a sistema de fracturas y agrietamientos en el macizo rocoso. A continuación se presenta la figura de la LTG-12.

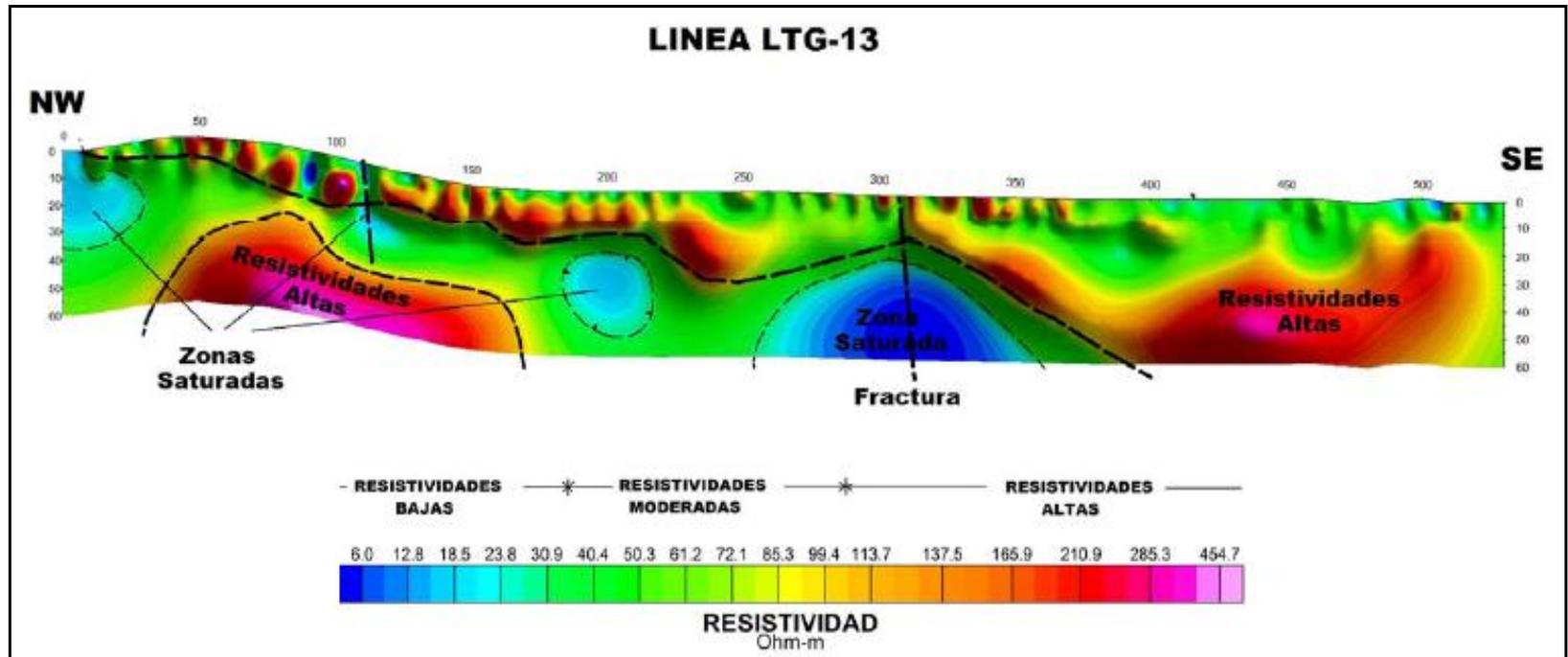
Figura N° 22.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-12



#### 4.3.1.13. Línea de Tomografía Geoeléctrica LTG-13:

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-13 con una longitud de 520 metros, se ha ejecutado aguas abajo de la línea LTG-12. Superficialmente presenta materiales de resistividades bajas a moderadas, que representa la zona de bofedales. Subyaciendo se presentan zonas con resistividades más altas, así como bolsones de agua, las cuales están relacionadas al sistema de fracturas y agrietamientos del macizo rocoso. A continuación se presenta la figura de la LTG-13.

Figura N° 23.0: Sección de Tomografía Geoeléctrica LTG-13



#### 4.3.2. Investigaciones Geotécnicas por medio de perforaciones Diamantinas:

Con la finalidad de conocer la litología de los materiales geológicos que subyacen en el área del proyecto, se ha ejecutado perforaciones diamantinas con recuperación continua de muestras. En el siguiente cuadro se muestra la ubicación de los sondajes ejecutados.

**Cuadro N° 14.0: Perforaciones Diamantinas ejecutadas (Sistema WGS-84)**

Número	Perforación Diamantina	Coordenadas			Longitud Ejecutada (m)	Descripción
		Norte	Este	Nivel (msnm)		
1	PT - 01	8288136.791	187898.118	4747.311	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas arriba zona de campamentos.
2	PT – 01 A	8288134.570	187897.032	4747..293	5.00	Quebrada Tambomayo – Aguas arriba zona de campamentos.
3	PT – 02	8287784.172	187226.690	4741.728	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas arriba zona de campamentos.
4	PT – 03	8286775.730	788629.427	4988.566	25.00	Parte alta de Quebrada Sahualque – margen izquierda de quebrada Tambomayo
5	PT – 04	8287618.782	186235.429	4642.914	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas abajo zona de campamentos.
6	PT – 05	8287588.609	185300.282	4630.535	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas abajo zona de campamentos.
7	PT – 06	8287655.952	183914.178	4556.875	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas abajo zona de campamentos.
8	PT – 07	8287394.604	183228.878	4523.593	25.00	Quebrada Ticlla antes de confluencia con Quebrada Tambomayo.
9	PT – 08	8287413.27	181398.031	4730.410	25.00	Quebrada Tambomayo, aguas debajo de confluencia con quebrada Ticlla.
10	PT – 09	828766.013	8287366.013	4327.391	25.00	Quebrada Tambomayo, aguas debajo de confluencia con quebrada Ticlla.
11	BH - 06	8287467.278	187341.617	4811.063	30.00	Zona de Botadero Proyectado.
12	BH – 07	8287421.993	187432.596	4820.960	30.00	Zona de Botadero Proyectado.
13	BH – 08	8287361.911	187501.966	4852.373	20.00	Zona de Botadero Proyectado.
14	BH – 09	8287533.043	187260.013	1788.791	30.00	Zona de Botadero Proyectado.
15	BH – 10	8287042.993	180896.136	4452.506	35.00	Zona Depósito de Relaves Proyectado.
16	BH – 11	8286970.964	180582.997	4436.468	35.00	Zona Depósito de Relaves Proyectado.
17	BH – 12	8286840.685	180528.407	4423.252	30.00	Zona Depósito de Relaves Proyectado.
18	BH – 13	8286941.299	180182.573	4416.901	30.00	Zona Depósito de Relaves Proyectado.
19	BH - 14	8286556.383	181166.702	4494.263	28.50	Zona Depósito de Relaves Proyectado.

**Ver Plano MM023-2012-GT-01: Investigaciones Hidrogeológicas Proyecto Tambomayo**

**4.3.2.1. Perforación Diamantina PT-01:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje PT-01.

**Cuadro N° 15.0: Perforaciones Diamantinas PT-01**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
PT – 01	0.00 – 9.00	Arenas limosas arcillosas, húmedas, medianamente plásticas, medianamente densas. Presencia de gravas con tamaño máximo de 1 ½”.
	9.00 – 10.05	Arcilla orgánica, húmeda, plástica.
	10.05 – 18.50	Arena bien graduada, húmeda, no plástica, presencia de gravas con tamaño máximo de ½”.
	18.50 – 20.00	Arcilla húmeda, densa, plástica.
	20.00 – 25.00	Arenas arcillosas, húmedas, densas, medianamente densas.

**4.3.2.2. Perforación Diamantina PT-02:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje PT-02.

**Cuadro N° 16.0: Perforaciones Diamantinas PT-02**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
PT – 02	0.00 – 2.10	Arcilla arenosas con grava, medianamente húmeda, plástica, presencia de gravas subangulosas con tamaño máximo de ½”
	2.10 – 25.00	Roca andesita de color gris verdoso, alterada, medianamente dura y fracturada.

#### 4.3.2.3. Perforación Diamantina PT-03:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje PT-03.

**Cuadro N° 17.0: Perforaciones Diamantinas PT-03**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
PT – 03	0.00 – 6.00	Arcilla de gravas y arenas, húmedas color plumizo, medianamente compacta, medianamente plástica, presencia de gravas subangulosas.
	6.00 – 14.00	Arenas arcillosas, húmedas, medianamente compacta densas, medianamente plásticas.
	14.00 – 15.00	Arcilla con arena, húmeda, medianamente compacta, medianamente plástica.
	15.00 – 25.00	Gravas y arenas arcillosas, húmedas, medianamente compactas, medianamente plásticas.

#### 4.3.2.4. Perforación Diamantina PT-04:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje PT-04.

**Cuadro N° 18.0: Perforaciones Diamantinas PT-04**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
PT – 04	0.00 – 9.00	Gravas arcillosas con arena, húmeda, medianamente densas, medianamente plásticas, presencia de gravas con tamaño máximo de 1 ½”.
	9.00 – 13.20	Arcillas y arenas arcillosas con grava, húmeda, medianamente compactas, medianamente plásticas, presencia de gravas subangulosas con tamaño máximo de 1”.
	13.20 – 25.00	Gravas y arenas mal graduadas con presencia de finos, húmedas, gravas subangulosas, y presencia de bloques con tamaño máximo de 15”.

#### 4.3.2.5. Perforación Diamantina PT-05:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje PT-05.

**Cuadro N° 19.0: Perforaciones Diamantinas PT-05**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
PT – 05	0.00 – 2.40	Arenas limosas arcillosas, húmedas, medianamente densas, medianamente plásticas, presencia de gravas subangulosas.
	2.40 – 14.30	Arenas bien graduadas con gravas, húmedas, medianamente densas, presencia de gravas con tamaño máximo de 1 ½".
	14.30 – 25.00	Gravas arenosas limosas con presencia de bloques y bolonería, húmedas, medianamente densas, presencia de gravas subangulosas, tamaño máximo de bloques de 15".

#### 4.3.2.6. Perforación Diamantina PT-06:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje PT-06.

**Cuadro N° 20.0: Perforaciones Diamantinas PT-06**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
PT – 06	0.00 – 8.30	Arcilla limosa arenosa, húmeda, medianamente densas, medianamente plástica, presencia de gravas subangulosas con tamaño máximo de 1 ½".
	8.30 – 13.10	Gravas limosas, húmedas, medianamente densas, presencia de gravas subangulosas, bloques y bolonería con tamaño máximo de 4".
	13.10 – 25.00	Roca volcánica medianamente dura, fracturada.
	15.00 – 25.00	Gravas y arenas arcillosas, húmedas, medianamente compactas, medianamente plásticas.

#### 4.3.2.7. Perforación Diamantina PT-07:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje PT-07.

**Cuadro N° 21.0: Perforaciones Diamantinas PT-07**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
PT – 07	0.00 – 3.40	Arenas limosas, arcillosas con gravas húmedas, medianamente densas, presencia de gravas subangulosas con tamaño máximo de 1 ½”.
	3.40 – 6.40	Gravas arenosas mal graduadas, húmedas, medianamente densas, con tamaño máximo de 1”.
	6.40 – 10.80	Arenas limosas, húmedas, medianamente densas, gravas subangulosas con tamaño máximo de 2”.
	10.80 – 25.00	Gravas y arenas limosas, húmedas, medianamente densas, gravas subangulosas con tamaño máximo de 4”.

#### 4.3.2.8. Perforación Diamantina PT-08:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje PT-08.

**Cuadro N° 22.0 Perforaciones Diamantinas PT-08**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
PT – 08	0.00 – 3.00	Arcilla gravosa, húmeda, medianamente compacta, medianamente plástica, presencia de gravas subangulosas con tamaño máximo de 1”.
	3.00 – 5.00	Gravas mal graduadas con arenas, húmedas, medianamente densas, presencia de gravas subangulosas con tamaño máximo de 1.5”.
	5.00 – 25.00	Roca volcánica fracturada.

#### 4.3.2.9. Perforación Diamantina PT-09:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje PT-09.

**Cuadro N° 23.0 Perforaciones Diamantinas PT-09**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
PT – 09	0.00 – 3.00	Arcilla gravosa, húmeda, medianamente compacta, medianamente plástica, presencia de gravas subangulosas con tamaño máximo de 1".
	3.00 – 25.00	Roca volcánica.

#### 4.3.2.10. Perforación Diamantina BH-06:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje BH-06.

**Cuadro N° 24.0 Perforaciones Diamantinas BH-06**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
BH – 06	0.00 – 9.00	Gravas limosas de color marrón oscuro, ligeramente húmeda, partículas subangulares con tamaño máximo de 1 ½".
	9.00 – 30.00	Roca volcánica.

#### 4.3.2.11. Perforación Diamantina BH-07:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje BH-07.

**Cuadro N° 25.0 Perforaciones Diamantinas BH-07**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
BH – 07	0.00 – 7.25	Gravas limosas de color marrón oscuro, ligeramente húmeda, partículas subangulares con tamaño máximo de 1 ½”.
	9.00 – 30.00	Roca volcánica.

**4.3.2.12. Perforación Diamantina BH-08:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje BH-08.

**Cuadro N° 26.0 Perforaciones Diamantinas BH-08**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
BH – 08	0.00 – 0.30	Limo arcilloso, color marrón oscuro, húmedas, medianamente plásticas, presencia de gravas subangulares con tamaño de 1 ½”.
	0.30 – 20.00	Roca volcánica.

**4.3.2.13. Perforación Diamantina BH-09:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje BH-09.

**Cuadro N° 27.0 Perforaciones Diamantinas BH-09**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
BH – 09	0.00 – 10.40	Grava limosa con arena y gravas, color marrón oscuro, húmeda, gravas subangulosas con tamaño máximo de 1 ½”.
	0.30 – 20.00	Roca volcánica.

#### **4.3.2.14. Perforación Diamantina BH-10:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje BH-10.

**Cuadro N° 28.0 Perforaciones Diamantinas BH-10**

<b>Perforación</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
BH – 10	0.00 – 0.50	Grava limosa, color marrón oscuro, ligeramente húmeda, gravas subangulosas con tamaño máximo de 1 ½ “. Finos de baja plasticidad.
	0.50 – 35.00	Roca volcánica.

#### **4.3.2.15. Perforación Diamantina BH-11:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje BH-11.

**Cuadro N° 29.0 Perforaciones Diamantinas BH-11**

<b>Perforación</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
BH – 11	0.00 – 0.80	Limo con presencia de gravas, color marrón claro, húmedo, de baja plasticidad.
	0.80 – 33.50	Roca andesítica y tufo andesítico.

#### **4.3.2.16. Perforación Diamantina BH-13:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje BH-13.

**Cuadro N° 30.0 Perforaciones Diamantinas BH-13**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
BH – 13	0.00 – 0.70	Limo arcilloso, color marrón oscuro, plasticidad baja a media consistencia blanda, presencia de material orgánico (raíces).
	0.70 – 30.00	Roca andesita.

**4.3.2.17. Perforación Diamantina BH-14:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen del registro de perforación del sondaje BH-14.

**Cuadro N° 31.0 Perforaciones Diamantinas BH-14**

Perforación	Profundidad (m)	Descripción
BH – 14	0.0 0.60	Limo ligeramente gravoso, color marrón, plasticidad baja, ligeramente húmedo, suelto.
	0.60 – 28.50	Roca andesita.

**4.3.3. Ensayos de Permeabilidad en Perforaciones Diamantinas:**

Con la finalidad de conocer la conductividad hidráulica en los estratos de material atravesados en las perforaciones diamantinas, se han ejecutado ensayos de permeabilidad, los cuales se detallan a continuación.

**4.3.3.1. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina PT-01:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación PT-01.

**Cuadro N° 32.0 Resultados de Permeabilidad – PT-01**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
PT – 01	1	4.50 – 5.00	LFC	$9.772 \times 10^{-4}$	Moderado	Arenas limosas arcillosas
	2	9.50 – 10.00	LFC	$9.225 \times 10^{-6}$	Bajo	Arcillas
	3	14.50 – 15.00	LFC	$4.018 \times 10^{-2}$	Alto	Arenas bien graduadas
	4	19.50 – 20.00	LFV	$1.442 \times 10^{-7}$	Bajo	Arcillas arenosas
	5	24.50 – 25.00	LFC	$4.018 \times 10^{-4}$	Moderado	Arenas arcillosas

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

*LFV: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Variable*

**4.3.3.2. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina PT-02:**

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación PT-02.

**Cuadro N° 33.0 Resultados de Permeabilidad – PT-02**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
PT – 02	1	4.50 – 5.00	LFC	$1.143 \times 10^{-2}$	Bajo	Roca andesítica fracturada
	2	9.50 – 10.00	LFC	$8.423 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca andesítica fracturada
	3	14.50 – 15.00	LFC	$1.166 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca andesítica fracturada
	4	19.50 – 20.00	LFC	$2.847 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca andesítica fracturada
	5	24.50 – 25.00	LFC	$3.221 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca andesítica fracturada

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

*LFV: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Variable*

#### 4.3.3.3. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina PT-03:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación PT-03.

**Cuadro N° 34.0 Resultados de Permeabilidad – PT-03**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
PT – 03	1	4.00 – 5.00	LFV	$3.860 \times 10^{-8}$	Bajo	Arcillas gravosas
	2	9.00 – 10.00	LFV	$3.158 \times 10^{-6}$	Bajo	Arenas arcillosas
	3	14.00 – 15.00	LFV	$3.834 \times 10^{-8}$	Bajo	Arcillas arenosas
	4	19.00 - 20.00	LFC	$2.969 \times 10^{-4}$	Moderado	Arenas arcillosas con grava
	5	24.00 -25.00	LFC	$7.435 \times 10^{-4}$	Moderado	Gravas arcillosas

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

*LFV: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Variable*

#### 4.3.3.4. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina PT-04:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación PT-04.

**Cuadro N° 35.0 Resultados de Permeabilidad – PT-04**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
PT – 04	1	4.50 – 5.00	LFV	$2.739 \times 10^{-5}$	Baja	Gravas arcillosas
	2	9.50 - 10.00	LFV	$9.312 \times 10^{-7}$	Baja	Arcillosas gravosas
	3	14.50 – 15.00	LFV	$1.522 \times 10^{-4}$	Moderada	Gravas arenosas con finos
	4	19.50 – 20.00	LFC	$2.595 \times 10^{-2}$	Alta	Gravas arenosas
	5	24.50 – 25.00	LFC	$1.812 \times 10^{-2}$	Alta	Grava mal graduadas

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

*LFV: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Variable*

#### 4.3.3.5. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina PT-05:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación PT-05.

**Cuadro N° 36.0 Resultados de Permeabilidad – PT-05**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
PT – 05	1	4.50 – 5.00	LFC	$1.611 \times 10^{-2}$	Baja	Arenas
	2	9.50 - 10.00	LFV	$7.152 \times 10^{-4}$	Moderado	Gravas arenosas con finos arcillosos
	3	14.50 – 15.00	LFV	$2.063 \times 10^{-4}$	Moderado	Gravas arenosas con finos limosos
	4	19.50 – 20.00	LFV	$1.277 \times 10^{-4}$	Moderado	Gravas arenosas con finos limosos
	5	24.50 – 25.00	LFV	$1.788 \times 10^{-4}$	Moderado	Gravas arenosas con finos limosos

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

*LFV: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Variable*

#### 4.3.3.6. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina PT-06:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación PT-06.

**Cuadro N° 37.0 Resultados de Permeabilidad – PT-06**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
PT – 06	1	4.50 – 5.00	LFV	$1.490 \times 10^{-6}$	Baja	Arcillas
	2	9.50 - 10.00	LFV	$1.853 \times 10^{-5}$	Baja	Gravas limosas
	3	14.50 – 15.00	LFV	$1.303 \times 10^{-4}$	Moderado	Roca fracturada
	4	19.50 – 20.00	LFV	$2.131 \times 10^{-4}$	Moderado	Roca fracturada
	5	24.50 – 25.00	LFC	$1.551 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

*LFV: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Variable*

#### 4.3.3.7. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina PT-07:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación PT-07.

**Cuadro N° 38.0 Resultados de Permeabilidad – PT-07**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
PT – 07	1	4.00 – 5.00	LFC	$1.213 \times 10^{-2}$	Bajo	Gravas arenosas
	2	9.00 – 10.00	LFV	$4.768 \times 10^{-4}$	Moderado	Arena limosa
	3	14.00 – 15.00	LFC	$1.317 \times 10^{-2}$	Moderado	Arenas con gravas
	4	19.00 – 20.00	LFV	$2.066 \times 10^{-4}$	Moderado	Gravas limosas
	5	24.00 – 25.00	LFV	$4.079 \times 10^{-3}$	Moderado	Gravas limosas

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

*LFV: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Variable*

#### 4.3.3.8. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina PT-08:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación PT-08.

**Cuadro N° 39.0 Resultados de Permeabilidad – PT-08**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
PT – 08	1	4.00 – 5.00	LFC	$1.00 \times 10^{-2}$	Bajo	Gravas mal graduadas
	2	9.00 – 10.00	LFC	$8.606 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	3	14.00 – 15.00	LFC	$6.210 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	4	19.00 – 20.00	LFC	$4.240 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	5	24.00 – 25.00	LFC	$2.447 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

*LFV: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Variable*

#### 4.3.3.9. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina PT-09:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación PT-09.

**Cuadro N° 40.0 Resultados de Permeabilidad – PT-09**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
PT – 09	1	4.00 – 5.00	LFC	$2.076 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	2	9.00 – 10.00	LFC	$2.232 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	3	14.00 – 15.00	LFC	$2.232 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	4	19.00 – 20.00	LFC	$1.718 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	5	24.00 – 25.00	LFC	$2.218 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

*LFV: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Variable*

#### 4.3.3.10. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina BH-06:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación BH-06.

**Cuadro N° 41.0 Resultados de Permeabilidad – BH-06**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
BH – 06	1	5.00 – 5.65	LFC	$8.3 \times 10^{-4}$	Moderado	Grava arcillosa
	2	10.00 – 11.00	LFC	$3.2 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	3	14.00 – 15.00	LFC	$2.3 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	4	19.00 – 20.00	LFC	$2.0 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	5	24.70 – 25.60	LFC	$1.4 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada
	6	29.00 – 30.00	LFC	$1.1 \times 10^{-3}$	Moderado	Roca fracturada

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

#### 4.3.3.11. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina BH-07:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación BH-07.

**Cuadro N° 42.0 Resultados de Permeabilidad – BH-07**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
BH – 07	1	2.80 – 5.80	LFC	$6.7 \times 10^{-4}$	Moderado	Limo arcilloso
	2	8.70 – 10.70	LFC	$2.2 \times 10^{-3}$	Moderado	Grava limosa
	3	13.65 – 15.65	LFC	$1.3 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	4	18.20 – 20.20	LFC	$1.3 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	5	23.00 – 25.00	LFC	$7.6 \times 10^{-4}$	Moderado	Toba Andesítica
	6	29.00 – 30.00	LFC	$1.3 \times 10^{-4}$	Moderado	Toba Andesítica

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

#### 4.3.3.12. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina BH-08:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación BH-08.

**Cuadro N° 43.0 Resultados de Permeabilidad – BH-08**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
BH – 08	1	4.00 – 5.00	LFC	$5.1 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	2	9.50 – 10.50	LFC	$3.2 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	3	13.80 – 14.80	LFC	$2.0 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	4	19.10 – 20.00	LFC	$1.8 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

#### 4.3.3.13. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina BH-09:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación BH-09.

**Cuadro N° 44.0 Resultados de Permeabilidad – BH-09**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
BH – 09	1	0.00 – 6.50	LFC	$4.8 \times 10^{-4}$	Moderado	Limo arenoso
	2	9.60 – 10.40	LFC	$1.4 \times 10^{-4}$	Moderado	Toba Andesítica
	3	14.00 – 15.00	LFC	$2.3 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	4	19.00 - 20.00	LFC	$2.6 \times 10^{-4}$	Moderado	Toba Andesítica
	5	23.50 – 24.50	LFC	$1.4 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	6	29.00 – 30.00	LFC	$1.1 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

#### 4.3.3.14. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina BH-10:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación BH-10.

**Cuadro N° 45.0 Resultados de Permeabilidad – BH-10**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
BH – 10	1	4.50 – 5.50	LFC	$8.0 \times 10^{-3}$	Moderado	Limo arenoso
	2	8.60 – 9.60	LFC	$4.1 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	3	14.40 – 15.40	LFC	$2.8 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	4	20.00 – 21.00	LFC	$1.6 \times 10^{-4}$	Moderado	Toba Andesítica
	5	24.60 – 25.60	LFC	$1.3 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	6	29.70 - 30.70	LFC	$1.8 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	7	34.00 – 35.00	LFC	$3.1 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

#### 4.3.3.15. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina BH-11:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación BH-11.

**Cuadro N° 46.0 Resultados de Permeabilidad – BH-11**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
BH – 11	1	4.00 – 5.00	LFC	$7.1 \times 10^{-3}$	Moderado	Limo arenoso
	2	9.50 – 10.50	LFC	$4.1 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	3	14.50 – 15.50	LFC	$2.8 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	4	19.50 – 20.80	LFC	$1.2 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	5	24.50 – 25.20	LFC	$1.5 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

#### 4.3.3.16. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina BH-12:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación BH-12.

**Cuadro N° 47.0 Resultados de Permeabilidad – BH-12**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
BH – 12	1	4.00 – 5.00	LFC	$5.4 \times 10^{-3}$	Moderado	Limo arenoso
	2	9.00 – 10.00	LFC	$6.5 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	3	14.00 – 15.00	LFC	$2.3 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	4	19.00 – 20.00	LFC	$1.9 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	5	24.00 – 30.00	LFC	$1.0 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	6	29.00 – 30.00	LFC	$1.2 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

#### 4.3.3.17. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina BH-13:

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación BH-13.

**Cuadro N° 48.0 Resultados de Permeabilidad – BH-13**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
BH – 13	1	4.00 – 5.00	LFC	$7.4 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	2	9.50 – 10.50	LFC	$6.9 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	3	14.70 – 15.70	LFC	$1.9 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	4	19.00 – 20.20	LFC	$1.3 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	5	24.00 – 25.00	LFC	$1.4 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	6	28.50 – 30.00	LFC	$9.6 \times 10^{-4}$	Moderado	Toba Andesítica

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

#### 4.3.3.18. Ensayos de Permeabilidad en Perforación Diamantina BH-14

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación BH-14.

**Cuadro N° 49.0 Resultados de Permeabilidad – BH-14**

Perforación	Nro. de Ensayo	Profundidad (m)	Tipo de Ensayo	Permeabilidad K (cm/seg)	Rango de permeabilidad	Tipo de Material
BH – 14	1	4.00 – 5.00	LFC	$1.3 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	2	10.00 – 11.30	LFC	$2.6 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	3	14.00 – 15.00	LFC	$2.4 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica
	4	20.80 – 21.60	LFC	$1.7 \times 10^{-3}$	Moderado	Toba Andesítica

*LFC: Ensayo de Permeabilidad Lefranc Nivel Constante*

#### **4.3.4. Instalación de Piezómetros Hidráulicos:**

Con la finalidad de conocer la profundidad de los niveles freáticos en el proyecto Tambomayo, se ha instalado piezómetros hidráulicos en las perforaciones diamantinas ejecutadas.

Durante los trabajos de campo, y en la ejecución de la perforación PT-01, se encontró a los 12.00 metros de profundidad, el fenómeno de artesianismo.

Entre los 9.00 y 10.00 metros, se presenta una capa de arcilla impermeable, la que se comporta como barrera o limitante del nivel freático profundo.

Durante los trabajos de perforación, se atravesó la capa de arcilla y se encontró agua confinada en estratos de arena y gravas, la cual por presión, emerge a la superficie a través de la tubería de perforación.

En tal sentido, y en coordinación con el Área de Medio Ambiente de CEDIMIN, se ejecuta una perforación adicional de 5.00 metros de profundidad, de tal manera que se instale 02 piezómetros hidráulicos; el primero de 25.00 metros de profundidad de acuerdo al programa inicial, y el segundo de 5.00 metros. El primero monitoreará el nivel freático profundo que se presenta por debajo de la capa de arcilla; mientras el segundo piezómetro monitoreará el nivel freático superficial correspondiente al eje de la quebrada y río Tambomayo.

Este fenómeno sólo se presenta en el sector aguas arriba de la garita de control del campamento; en ese sector de la quebrada Tambomayo se desarrolla una planicie y valle glaciar en forma "U", en el que se han depositado una secuencia estratigráfica de materiales permeables e impermeables. Esta secuencia de deposición está limitada hasta la zona en que la quebrada sufre un encañonamiento (garita de control del campamento).

En las perforaciones diamantinas ejecutadas en otros sectores no se presenta ese fenómeno artesianiano.

A continuación se presenta un cuadro resumen con la red de piezómetros instalados en el proyecto Tambomayo.

***Ver Plano MM023-2012-HG-01: Red de Piezómetros Hidráulicos Proyecto Tambomayo***

**Cuadro N° 50.0 Piezómetros Instalados en el Proyecto Tambomayo**

Número	Perforación Diamantina	Coordenadas			Longitud Ejecutada (m)	Descripción
		Norte	Este	Nivel (msnm)		
1	PT - 01	8288136.791	187898.118	4747.311	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas arriba zona de campamentos.
2	PT – 01 A	8288134.570	187897.032	4747..293	5.00	Quebrada Tambomayo – Aguas arriba zona de campamentos.
3	PT – 02	8287784.172	187226.690	4741.728	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas arriba zona de campamentos.
4	PT – 03	8286775.730	788629.427	4988.566	25.00	Parte alta de Quebrada Sahualque – margen izquierda de quebrada Tambomayo
5	PT – 04	8287618.782	186235.429	4642.914	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas abajo zona de campamentos.
6	PT – 05	8287588.609	185300.282	4630.535	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas abajo zona de campamentos.
7	PT – 06	8287655.952	183914.178	4556.875	25.00	Quebrada Tambomayo – Aguas abajo zona de campamentos.
8	PT – 07	8287394.604	183228.878	4523.593	25.00	Quebrada Ticlla antes de confluencia con Quebrada Tambomayo.
9	PT – 08	8287413.27	181398.031	4730.410	25.00	Quebrada Tambomayo, aguas debajo de confluencia con quebrada Ticlla.
10	PT – 09	828766.013	8287366.013	4327.391	25.00	Quebrada Tambomayo, aguas debajo de confluencia con quebrada Ticlla.
11	BH - 06	8287467.278	187341.617	4811.063	30.00	Zona de Botadero Proyectado.
12	BH – 07	8287421.993	187432.596	4820.960	30.00	Zona de Botadero Proyectado.
13	BH – 08	8287361.911	187501.966	4852.373	20.00	Zona de Botadero Proyectado.
14	BH – 09	8287533.043	187260.013	1788.791	30.00	Zona de Botadero Proyectado.
15	BH – 10	8287042.993	180896.136	4452.506	35.00	Zona Depósito de Relaves Proyectado.
16	BH – 11	8286970.964	180582.997	4436.468	35.00	Zona Depósito de Relaves Proyectado.
17	BH – 12	8286840.685	180528.407	4423.252	30.00	Zona Depósito de Relaves Proyectado.
18	BH – 13	8286941.299	180182.573	4416.901	30.00	Zona Depósito de Relaves Proyectado.
19	BH - 14	8286556.383	181166.702	4494.263	28.50	Zona Depósito de Relaves Proyectado.

#### 4.3.5. Inventario de Fuentes de Agua:

##### 4.3.5.1. Inventario de Fuentes de Agua Superficiales:

En el área del proyecto se ha inventariado fuentes de agua superficiales, las cuales corresponden a ríos, quebradas, y efluentes. En el siguiente cuadro, se presenta dicho inventario.

**Cuadro N° 51.0 Inventario de Fuentes de Agua superficiales**

Número	Descripción	Coordenadas		Altura (msnm)
		Norte	Este	
E - 1	Qda. Tambomayo, parte superior de la microcuenca.	8288749	188812	4790
E - 2	Qda. Sahualque, parte baja.	8287309	188216	4897
E - 3	Qda. Sahualke , parte superior, lado derecho	8286844	188885	5001
E - 4	Qda. Ucrimayo, antes del campamento. Altura de garita de control	8287804	187167	4735
E - 6	Qda. Ucrimayo, aguas abajo del punto E-5	8287718	187091	4730
E - 7	Qda. Afluente a la Qda. Ucrimayo	8287458	186394	4660
E - 8	Qda. Ucrimayo, punto más abajo del proyecto	8287547	185222	4625
E - 9	Parte media de la microcuenca Llachipayá	8284632	189967	4835
E - 10	Qda. Ubicada frente al campo	8287867	186960	4805
E - 11	Parte media de la microcuencas Juribuirí	8285998	191621	4800
E - 12	Parte media de la microcuenca Chiñiñamayo	8291857	194027	5035
E - 13	Qda. Llinayoc, antes del río Mollaca	8292036	179014	4236
E - 14	Aguas debajo de la Qda. Ucrimayo, luego de la confluencia con la Qda. Ticlla	8286959	182394	4507
E - 15	Río Molloco aguas arriba antes de la confluencia con el río Ucrimayo	8288524	177948	4198
E - 16	Río Molloco aguas abajo antes de la confluencia con el río Ucrimayo	8286785	178372	4209
E - 17	Río Molloco aguas arriba antes de la confluencia con el río Llimayoc	8292526	178503	4230
E - 18	Qda. Ticlla antes de la confluencia con el río Verramayo	8286948	183234	4553

#### **4.3.5.2. Inventario de Bofedales:**

Para la caracterización hidrogeológica en el área del proyecto, se ha realizado un inventario de los cuerpos de bofedales que se encuentran en la zona de interés. En el siguiente cuadro se presenta el inventario de bofedales.

**Cuadro N° 52.0 Inventario de Bofedales**

Número	Descripción	Coordenadas		Altura (msnm)
		Norte	Este	
BF - 1	Qda. Ucrimayo, punto más bajo del proyecto, cercano al punto E-8	8287482	185250	4625
BF - 2	Qda. Sahualke, cerca de la estación E-3	8286816	188838	4988
BF-3	Parte media de microcuenca Llachipaya	8284902	189884	4850
BF-4	Parte media de la microcuenca Suruhiri	8286361	191677	4827
BF-5	Parte alta de la microcuenca Suruhiri, margen izquierda	8286974	192116	4945
BF-6	Parte alta de la microcuenca Suruhiri, margen derecha	8287505	191297	5003
BF-7	Parte media de la micocuenca Chiñiñamayo	8291720	193727	5065

#### **4.3.6. Hidroquímica:**

Mediante este capítulo se evalúa la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas (piezómetros) en el área de influencia del presente proyecto, para lo cual se realizó un monitoreo en febrero del 2013, el que estuvo a cargo de personal del laboratorio CERTIMIN, el que se encuentra debidamente acreditado por Indecopi.

##### **4.3.6.1. Ubicación de Puntos de Monitoreo:**

En el área de estudio se encuentran instalados 19 piezómetros, cuya descripción y ubicación se indica en el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 53.0 Ubicación de piezómetros**

Código Piezómetro	Descripción	Coordenadas UTM WGS84		Altura (msnm)	Profundidad Piezómetro (m)
		Norte	Este		
BH - 6	300 m. antes de la Quebrada Ticlla	187341.617	8287467.278	4811.063	30
BH - 7	Desmontera, debajo del Nv. 4790	187432.596	8287421.993	4820.960	30
BH - 8	Desmontera al Nv. 4790	187501.966	8287361.911	4852.373	20
BH - 9	Costado de la desmontera, Nv. 4790	187260.013	8287533.043	4788.791	30
BH - 10	A 200 m. de BH - 11, misma zona	180896.136	8287042.993	4452.506	35
BH - 11	A 50 m. de BH - 13	180582.997	8286970.964	4436.468	35
BH - 12	A 100 m. de BH - 13	180528.407	8286840.685	4423.252	30
BH - 13	Zona de futura Relavera, a 800 m de E - 4	180182.573	8286941.299	4416.901	30
BH - 14	Lado este de futura relavera, a 500 m. de BH - 11	181166.702	8286566.383	4494.263	28.5
PT - 01	Aguas arriba de campamento, a 400 m.	187898.118	8288136.791	4747.311	25
PT - 01A	400 m., aguas arriba del campamento	187897.032	8288134.570	4747.293	5
PT - 02	Ubicado a 30 m., de la garita de control	187226.690	8287784.172	4741.728	25
PT - 03	Parte alta de Quebrada Sahualque – margen izquierda de quebrada Tambomayo	188629.427	8286775.730	4988.566	25
PT - 04	Altura del punto E - 7, línea base	186235.429	8287618.782	4642.914	25
PT - 05	Bofedal de Quebrada Tambomayo, altura de E - 1 y E - 5	185300.282	8287588.609	4630.535	25
PT - 06	500 m., antes de la Quebrada Ticlla	183914.178	8287655.952	4556.875	25
PT - 07	Quebrada Ticlla antes de confluencia con quebrada Tambomayo	183228.878	8287394.604	4523.593	25
PT - 08	Quebrada Tambomayo, aguas abajo de confluencia con quebrada Ticlla	181398.031	8287413.270	4370.410	25
PT - 09	Quebrada Tambomayo, aguas debajo de confluencia con quebrada Ticlla.	180660.723	8287366.013	4327.391	25

Fuente: Geoservice Ambiental SAC

#### 4.3.6.2. Validación de Datos

Debemos indicar que los piezómetros con códigos: BH-6, BH-8, BH-9, BH-10, BH-11, BH-12, BH-13, BH-14 y PT-03 no registraron nivel piezométrico, por lo que no se pudieron muestrear.

Para corroborar la validez de los resultados obtenidos, se realizó el balance iónico de las muestras de agua subterránea en base a la

concentración de los cationes y aniones referida a metales disueltos, obteniendo resultados aceptables ya que el porcentaje de error varía entre 0 - 10%.

**Cuadro N° 54.0 Resultados del Balance Iónico**

Código Piezómetro	Na	K	Ca	Mg	Cl	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	% de Error
	mg/l								
PT - 01	10.83	3.92	24.15	4.52	<1	<1	119	7	-0.2
PT - 01A	9.36	3.46	23.54	4.24	<1	<1	110	12	-2.3
BH - 7	4.6	3.6	53.09	17.62	2	<1	62	190	-7.1
PT -02	26.66	2.75	40.88	4.97	24	<1	109	60	-0.9
PT -04	5.0	1.99	8.39	1.34	<1	<1	34	8	0.8
PT -05	9.1	2.74	17.68	1.99	<1	<1	57	20	3.4
PT -06	26.03	1.26	15.02	1.33	<1	<1	81	41	-5.1
PT -07	21.59	1.29	25.81	1.76	<1	<1	100	36	-0.9
PT -08	3.97	0.96	18.23	3.89	7	<1	48	34	-9.5
PT -09	21.22	0.58	15.03	2.66	14	<1	45	53	-8.7

Fuente: Laboratorio CERTIMIN.

#### **4.3.6.3. Resultados de Calidad del Agua:**

La calidad de las aguas subterráneas ha sido comparada con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua DS N° 002-2008-MINAM, para la categoría 3 (Aguas para riego de vegetales y bebida de animales).

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos efectuados en las muestras de agua de los piezómetros evaluados, son presentados en los cuadros siguientes.

**Cuadro N° 55.1 Resultados de Análisis**

Código	T °C	pH	Conductiv. uS/cm	OD	CN Wad	SAAM	AyG	Hg(t)	DBO	CO3	HCO3	NO3-N	NO2-N
				mg/L									
PT - 01	11.4	7.61	238	3.7	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	<2.00	<1	119	0.13	<0.005
PT - 01A	10.8	7.41	195	2.4	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	22.7	<1	110	<0.10	0.011
BH - 7	7.4	7.36	493	5.4	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	9.9	<1	62	1.41	0.11
PT -02	9.3	7.81	418	4.8	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	14.6	<1	109	3.36	0.14
PT -04	9.2	7.79	86	4.8	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	12.9	<1	34	0.4	0.06
PT -05	9	8.15	177	3.5	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	2.0	<1	57	0.22	0.009
PT -06	9.8	7.72	223	4.1	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	28.6	<1	81	0.12	0.022
PT -07	9.4	7.62	274	3.5	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	2.4	<1	100	0.29	0.007
PT -08	9.2	8.05	138	4.3	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	4.1	<1	48	0.16	0.006
PT -09	9.8	8.09	279	4.8	<0.005	<0.025	<0.5	<0.0005	2.4	<1	45	<0.10	0.014
ECA – 3*	NA	6.5 – 8.4	<2000	>5	0.1	1	1	0.001	15	5	370	10	0.06

ECA – 3\*: Estándares Nacionales de calidad Ambiental para el agua, DS N° 002-2008-MINAM (categoría 3).

Fuente: Laboratorio CERTIMIN.

**Cuadro N° 55.2 Resultados de Análisis**

Código	Fluoruros	Cloruros	PO <sub>4</sub> -P	Turbiedad NTU	Cr+6	STS	STD	SO <sub>4</sub>	Sulfuros	Fenoles	Ag(t)	Al(t)	As(t)
	mg/L				mg/L								
PT - 01	0.31	<1	0.246	13	<0.01	67	38	7	<0.02	<0.01	0.00013	0.314	0.000
PT - 01A	0.33	<1	1.25		<0.01	11470	138	12	<0.02	<0.01	0.00457	27.882	0.008
BH - 7	0.1	2	<0.005	1573	<0.01	3812	94	190	<0.02	<0.01	0.00285	10.882	0.007
PT - 02	0.47	24	0.032	494	<0.01	1380	132	60	<0.02	<0.01	0.00123	6.025	0.004
PT - 04	0.2	<1	<0.005	19	<0.01	22	60	8	0.003	<0.01	0.00035	0.65	0.001
PT - 05	0.3	<1	0.018	3	<0.01	16	126	20	0.004	<0.01	<0.00001	0.118	0.006
PT - 06	0.22	<1	0.016	39	<0.01	67	68	41	0.003	<0.01	0.00041	1.091	0.007
PT - 07	0.23	<1	0.011	6	<0.01	11	176	36	<0.02	<0.01	<0.00001	0.532	0.015
PT - 08	0.23	7	<0.005	16	<0.01	13	76	34	0.005	<0.01	<0.00001	0.572	0.004
PT - 09	0.23	14	0.005	199	<0.01	210	8	53	0.005	<0.01	0.00005	10.13	0.007
<b>ECA – 3*</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>300</b>	<b>0.05</b>	<b>0.001</b>	<b>0.05</b>	<b>5</b>	<b>0.05</b>

ECA – 3\*: Estándares Nacionales de calidad Ambiental para el agua, DS N° 002-2008-MINAM (categoría 3).

Fuente: Laboratorio CERTIMIN.

**Cuadro N° 55.3 Resultados de Análisis**

Código	Ba (t)	B(t)	Ca(t)	Cd(t)	Cr(t)	Cu(t)	K(t)	Li(t)	Fe(t)	Mg(t)	Mn(t)	Na(t)	Ni(t)
	mg/L												
PT - 01	0.06215	0.007	26.86	0.0002	0.0009	0.003	3.97	<0.004	2.86	4.85	0.348	10.83	0.001
PT - 01A	0.29909	0.011	47.77	0.0009	0.0247	0.113	6.38	0.017	49.96	28.64	2.128	12.01	0.053
BH - 7	0.1031	<0.003	98.68	0.0006	0.0065	0.077	5.88	0.011	8.13	29.56	0.900	5.22	0.021
PT -02	0.12194	0.013	47.77	0.0007	0.0052	0.070	3.66	0.017	7.22	9.94	0.402	28.62	0.012
PT -04	0.01393	<0.003	8.89	0.0005	0.016	0.006	2.08	0.005	0.84	1.77	0.081	5.22	0.002
PT -05	0.00663	0.024	18.26	0.0001	0.005	0.002	2.84	0.006	0.12	2.06	0.037	9.16	0.001
PT -06	0.01957	0.025	17.12	0.0025	0.0014	0.008	1.52	0.004	1.58	1.9	0.138	26.76	0.002
PT -07	0.01208	0.034	29.19	0.0002	0.001	0.005	1.32	0.005	0.42	1.98	0.014	22.34	0.001
PT -08	0.01459	<0.003	18.23	0.0003	0.001	0.014	1.1	<0.004	1	2.66	0.093	3.97	0.003
PT -09	0.09047	0.004	21.48	0.0003	0.0028	0.014	2.8	0.012	5.39	3.89	0.250	33.13	0.004
ECA – 3*	0.7	0.5	200	0.005	0.1	0.2	NA	2.5	1	150	0.2	200	0.2

ECA – 3\*: Estándares Nacionales de calidad Ambiental para el agua, DS N° 002-2008-MINAM (categoría 3).  
Fuente: Laboratorio CERTIMIN.

**Cuadro N° 55.4 Resultados de Análisis**

Código	Na(d)	K(d)	Ca(d)	Mg(d)	Cloruros	CO3	HCO3	Fluoruros	SO <sub>4</sub>
	mg/L								
PT - 01	10.83	3.92	24.15	4.53	<1	<1	119	0.31	7
PT - 01A	9.36	3.46	13.54	4.24	<1	<1	110	0.33	12
BH - 7	4.60	3.60	53.09	17.62	2	<1	62	0.1	190
PT -02	26.60	2.75	40.88	4.97	24	<1	109	0.47	60
PT -04	5.00	1.99	8.39	1.34	<1	<1	34	0.2	8
PT -05	9.10	2.74	17.68	1.99	<1	<1	57	0.3	20
PT -06	26.03	1.26	15.02	1.33	<1	<1	81	0.22	41
PT -07	21.59	0.96	25.81	1.76	<1	<1	100	0.23	36
PT -08	3.76	0.96	15.96	2.42	7	<1	48	0.23	34
PT -09	21.22	0.58	15.03	1.77	14	<1	45	0.23	53
ECA – 3*	NA	NA	NA	NA	100-700	5	370	1	300

ECA – 3\*: Estándares Nacionales de calidad Ambiental para el agua, DS N° 002-2008-MINAM (categoría 3).  
Fuente: Laboratorio CERTIMIN.

**Cuadro N° 55.5 Resultados de Análisis**

Código	Na(d)	K(d)	Ca(d)	Col. Fecales	Col. Totales
	mg/L			NMP/100ml	
PT - 01	0.005	<0.001	0.063	<1.8	<1.8
PT - 01A	0.024	0.003	0.146	<1.8	70
BH - 7	0.011	0.002	0.056	<1.8	<1.8
PT -02	0.011	0.002	0.147	<1.8	17
PT -04	0.011	<0.001	0.043	<1.8	1.8
PT -05	0.03	<0.001	0.227	<1.8	21
PT -06	0.007	<0.001	0.075	<1.8	4
PT -07	0.004	<0.001	0.252	<1.8	22
PT -08	0.007	<0.001	0.081	<1.8	22
PT -09	0.018	0.002	0.094	22	79
<b>ECA – 3*</b>	<b>0.05</b>	<b>0.005</b>	<b>2</b>	<b>1000</b>	<b>5000</b>

ECA – 3\*: Estándares Nacionales de calidad Ambiental para el agua, DS N° 002-2008-MINAM (categoría 3).  
Fuente: Laboratorio CERTIMIN.

#### 4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.

##### A) Formulación de las hipótesis estadísticas:

**H1:** El rango de permeabilidad del agua subterránea favorece en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?

**Ho:** El rango de permeabilidad del agua subterránea no favorece en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?

##### B) Nivel de significancia:

$$\alpha = 0,05$$

##### C) Estadístico de prueba:

Prueba para la media de la población muestra grande “ z”

		RANGO DE PERMEABILIDAD
N		76
Parámetro	Media	1,87
s	Desviación típica	,442
<u>normales<sup>a</sup>.</u>		
<u>b</u>		
Diferencia	Absoluta	,446
s más	Positiva	,344
extremas	Negativa	-,446
Z de <u>Kolmogorov-Smirnov</u>		3,887
Sig. <u>asintót.</u> (bilateral)		,000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Prueba para una muestra

	Valor de prueba					
	z	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
RANGO DE PERMEABILIDAD	36,812	75	,000	1,868	1,77	1,97

**D) Regla de decisión:**

Si el sig. De la prueba z es  $\leq 0,05$  se rechaza  $H_0$

**Como:** 0,00 < 0,05 Entonces rechazamos la hipótesis estadística nula y aceptamos la hipótesis alterna.

**E) Decisión:**

Con un 95 % de certeza se afirma que el rango de permeabilidad del agua subterránea favorece en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.

En efecto el bajo y moderado rango de permeabilidad de las aguas subterráneas favorece el diseño de y planificación de las operaciones del proyecto de Exploración Tambomayo

## CONCLUSIONES

- ✓ Se ha evidenciado con la prueba de hipótesis que el rango de permeabilidad del agua subterránea favorece en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.
- ✓ Las aguas subterráneas en el área del proyecto están caracterizadas por valores de pH neutros, con valores promedio de 7.59 (piezómetros PT-01 al PT-04), incrementándose ligeramente en la parte baja de la microcuenca Tambomayo.
- ✓ Todos los valores de pH se encontraron en el rango de ECA establecido para la categoría 3.
- ✓ Las aguas en el área del proyecto presentan valores de conductividad eléctrica por debajo del ECA-3 (2000 uS/cm), con valores entre 86 y 493 uS/cm, con un promedio de 252 uS/cm.
- ✓ Por otro lado, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados presentaron valores por debajo de los ECA establecidos para la categoría 3 (bebida de animales y riego de vegetales), a excepción de los que se indican a continuación:
  - La concentración de la demanda bioquímica de oxígeno superó el ECA correspondiente en el punto PT-1A ubicado en la parte alta de la quebrada Tambomayo, así como en el punto PT-06 ubicado aguas abajo del área del proyecto, en la parte baja de dicha quebrada.
  - La concentración de hierro y manganeso, en los piezómetros PT-01, PT-01A, BH-7 y PT-02 ubicados en el área del proyecto se encontró superando los ECA correspondientes a la categoría 3; la

concentración de estos parámetros disminuye en la parte baja de la microcuenca Tambomayo donde se encuentra por debajo de los ECA, observándose que en el punto PT-09 ubicado en la parte más baja de dicha microcuenca la concentración de estos parámetros superó ligeramente los ECA respectivos.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Se recomienda continuar con el monitoreo de niveles freáticos en la red de
- ✓ piezómetros hidráulicos instalados en el proyecto Tambomayo.
- ✓ Se recomienda realizar un monitoreo mensual de calidad de agua de la red de piezómetros hidráulicos instalados.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Ribera, F., Sánchez, X., Vazquez, E. (2009). **“Hidrogeología: Conceptos Basicos de Hidrología Subterránea”**. Barcelona, España.
2. Auge, M. (2004). **“Hidrogeología Ambiental I”**, Buenos Aires, Argentina.
3. Auge, M. (2004). **“Hidrogeología Ambiental II”**, Buenos Aires, Argentina.
4. Aparicio, F. (1992). **“Fundamentos de Hidrología de Superficie”**. D.F., Mexico.
5. Organización Meteorológica Mundial (1994). **“Guía de Prácticas Hidrológicas”**. Washington, EE.UU.
6. Moran, R. (2013). **“Proyecto Minero Conga: Comentarios al Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y Temas Relacionados”**. Colorado, EE.UU.
7. Gonzales, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2004). **“Ingeniería Geológica”**. Madrid, España.
8. GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C. (2009). **“Linea Base Ambiental y Social del Proyecto Tambomayo”**. Arequipa, Perú.
9. GEA-DES INGENIEROS S.A.C. (Febrero, 2010). **“Estudio de Impacto Ambiental Semidetllado (EIAsd)”**. Arequipa, Perú.
10. GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C. (Julio, 2011). **“Modificación del EIAsd del Proyecto de exploración Tambomayo”**. Arequipa, Perú.

11. Water Production S.A.C. (Julio, 2011). **“Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de la Quebrada Ucriamayo y la Línea Base de la quebrada Sepregina (zona de Tapay)”**. Arequipa, Perú.
12. Gonzales, A., Oseda, D., Ramírez, F., Gave J.L. (Mayo 2011) **¿Cómo aprender y enseñar Investigación Científica?** Perú – Huancavelica.

## ANEXO

**ANEXO N° 01:**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**Título: ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DEL PROYECTO DE EXPLORACIÓN TAMBOMAYO Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.**

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿De qué manera la calidad del agua subterránea influye en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?</p> <p><b>Problemas específicos:</b></p> <p>¿De qué manera la caracterización físico-química del agua subterránea influye en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?</p> <p>¿Cómo influye la resistividad de los suelos en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?</p> <p>¿Cómo influye el agua subterránea en la estabilidad de taludes y huecos mineros en diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Determinar la influencia de la calidad del agua subterránea en el diseño y planificación de las operaciones del proyecto de Exploración Tambomayo.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>Determinar la característica físico-química del agua subterránea para el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.</p> <p>Determinar la influencia de la resistividad de los suelos para el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo</p> <p>Determinar la influencia del agua subterránea en la estabilidad de taludes y huecos mineros en diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo</p>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <p>La calidad del agua subterránea influye significativamente en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <p>La caracterización físico-química del agua subterránea influye en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo</p> <p>La resistividad de los suelos influye en el diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.</p> <p>El agua subterránea influye en la estabilidad de taludes y huecos mineros en diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo.</p>	<p><b>Variable:</b></p> <p><b>V1:</b> Calidad del agua subterránea del proyecto Tambomayo.</p> <p><b>Variable 2</b></p> <p><b>V2:</b> Diseño y planificación de las operaciones mineras del Proyecto de Exploración Tambomayo</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>Tecnológico</p> <p><b>Nivel de investigación:</b></p> <p>Descriptivo</p> <p><b>Método</b></p> <p><b>MG:</b> Método científico.</p> <p><b>ME:</b> Pre experimental</p> <p><b>Diseño de investigación:</b></p> <p><b>Población.</b></p> <p>Esta constituida por la Cuenca Tambomayo que está dentro del proyecto de exploracion Tambomayo</p> <p><b>Muestra:</b></p> <p>Quebrada de Tambomayo</p>

