

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**

**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia**

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE  
EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE  
LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNÍN**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. WILBERT JUAN VIZCARRA ALPONTE**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO – GEOTÉCNICO**

**TACNA – PERÚ**

**2017**



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**

**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia**

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE  
EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE  
LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNÍN**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. WILBERT JUAN VIZCARRA ALPONTE**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO – GEOTÉCNICO**

**TACNA – PERÚ**

**2017**



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA

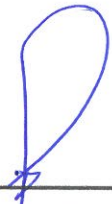
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA-GEOTECNIA

TESIS

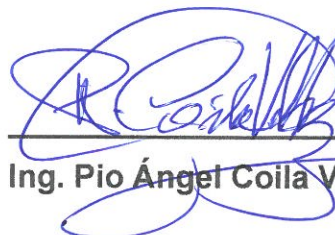
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE  
EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE  
LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNÍN

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 6 DE JULIO DE 2017, SIENDO  
EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE

  
\_\_\_\_\_  
MSc. Conrado Gabino Bedoya Jaén

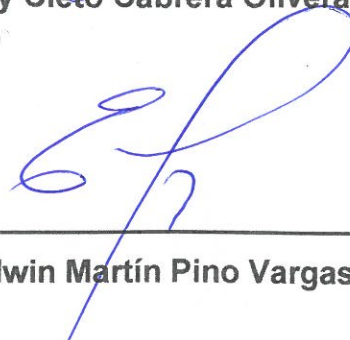
MIEMBRO SECRETARIO

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Pio Ángel Coila Valdez

MIEMBRO

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Fredy Cleto Cabrera Olivera

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
PH. D. Edwin Martín Pino Vargas

## DEDICATORIA

A Dios y a mi madre.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	ii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE LÁMINAS .....	xi
RESUMEN .....	xii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Aspectos Generales .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Hipótesis.....	3
1.5 Justificación.....	4
1.6 Antecedentes .....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 Aspectos Generales .....	5
2.2 Conceptos y Definiciones Básicas .....	6
2.3 Revisión de estudios anteriores .....	10
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
3.1 Características Generales del proyecto.....	13

3.1.1	Ubicación.....	13
3.1.2	Accesibilidad.....	13
3.2	Sector de Emplazamiento de la Presa Alpamarca .....	16
CAPITULO IV: MARCO GEOMORFOLÓGICO GEOLÓGICO .....		18
4.1	Marco geomorfológico geológico regional.....	18
4.1.1	Geomorfología regional .....	18
4.1.2	Estratigrafía regional.....	20
4.1.3	Aspectos geoestructurales.....	24
4.2	Marco geomorfológico geológico local .....	25
4.2.1	Geomorfología local.....	25
4.2.2	Estratigrafía local .....	26
4.2.3	Riesgo geodinámico .....	33
CAPITULO V: HIDROMETEOROLÓGICO .....		34
5.1	Aspectos hidrometeorológicos .....	34
5.1.1	Parámetros geomorfológicos.....	34
5.1.2	Clima y meteorología.....	41
5.1.3	Análisis meteorológico .....	42
5.1.4	Precipitación .....	47
5.1.5	Temperatura .....	58
5.1.6	Humedad relativa.....	61
5.1.7	Velocidad del viento.....	62

5.1.8	Evaporación.....	62
5.1.9	Evapotranspiración potencial.....	64
5.1.10	Balance climático.....	65
5.1.11	Generación de caudales en microcuencas aportantes.....	68
5.1.12	Balance hídrico en el depósito de relaves Alpamarca.....	72
CAPITULO VI: PROGRAMA DE INVESTIGACIONES.....		82
6.1	Programa de investigaciones con fines hidrogeológicos.....	82
6.1.1	Perforaciones diamantinas y perforaciones Wash Boring... ..	82
6.1.2	Ensayos de permeabilidad.....	93
6.1.3	Investigaciones geofísicas.....	115
6.1.4	Instalación de piezómetros hidráulicos.....	140
6.2	Inventario de fuentes de agua superficial y subterránea.....	142
6.2.1	Fuentes de aguas superficiales.....	142
6.2.2	Fuentes de aguas subterráneas.....	146
CAPITULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		147
7.1	El acuífero.....	147
7.2	La Napa freática.....	148
7.2.1	Profundidad de la napa freática.....	148
7.2.2	Fluctuación de la napa freática.....	150
7.3	Morfología del techo de la napa.....	156
7.4	Unidades hidrogeológicas.....	158

7.4.1	Formación Casapalca (Kp-ca) .....	158
7.4.2	Formación Yantac (Pe-y) .....	159
7.4.3	Depósitos cuaternarios .....	159
7.5	Parámetros hidrogeológicos.....	161
7.6	Zonas de Recarga y descarga .....	162
7.7	Modelo geológico conceptual.....	163
7.8	Modelo hidrogeológico conceptual .....	165
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		173
8.1	Conclusiones.....	173
8.2	Recomendaciones.....	176
CAPITULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		178
ANEXO .....		183

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.Vías de acceso a la zona del proyecto.....	14
Tabla N° 2.Parámetros geomorfológicos de las microcuencas.....	37
Tabla N° 3.Estaciones meteorológicas empleadas.....	43
Tabla N° 4.Precipitación anual histórica .....	47
Tabla N° 5.Precipitación años seco, húmedo y promedio.....	54
Tabla N° 6.Precipitación (mm)años seco, húmedo y promedio .....	57
Tabla N° 7.Temperatura media mensual (°C) – estación Animón.....	59
Tabla N° 8. Valores de evaporación (mm) estación Upamayo.....	63
Tabla N° 9.Evapotranspiración potencial en la zona de estudio .....	65
Tabla N° 10. Caudales (m <sup>3</sup> /s) modelo Lutz - microcuenca 1.....	69
Tabla N° 11.Caudales (m <sup>3</sup> /s) modelo Lutz -microcuenca 2.....	70
Tabla N° 12.Caudales generados para las microcuencas 1 y 2.....	72
Tabla N° 13.Balance hídrico (mm) para año seco .....	74
Tabla N° 14.Balance hídrico (mm) para año húmedo .....	76
Tabla N° 15.Balance hídrico (mm) para año promedio .....	78
Tabla N° 16. Balance hídrico (mm) para año promedio .....	80
Tabla N° 17.Infiltración para cada año tipo .....	81
Tabla N° 18.Infiltración total para cada año tipo .....	81
Tabla N° 19.Perforaciones diamantinas.....	83

Tabla N° 20.Perforaciones WashBoring .....	83
Tabla N° 21. Cálculo de la permeabilidad carga constante.....	98
Tabla N° 22.Formato de ensayo Lefranc carga constante.....	99
Tabla N° 23.Formato de ensayo Lefranc carga variable.....	101
Tabla N° 24.Resultados de permeabilidad - perforación P-1 .....	104
Tabla N° 25.Resultados de permeabilidad - perforación P-2.....	105
Tabla N° 26.Resultados de permeabilidad - perforación P-3.....	106
Tabla N° 27. Resultados de permeabilidad -perforación P-4 .....	107
Tabla N° 28.Resultados de permeabilidad - perforación P-5 .....	108
Tabla N° 29.Resultados de permeabilidad - perforación P-6 .....	109
Tabla N° 30.Resultados de permeabilidad - perforación P-7 .....	109
Tabla N° 31. Resultados de permeabilidad - perforación WB-1.....	110
Tabla N° 32.Resultados de permeabilidad - perforación WB-2.....	110
Tabla N° 33.Resultados de permeabilidad - perforación WB-3.....	111
Tabla N° 34.Resultados de permeabilidad - perforación WB-4.....	111
Tabla N° 35.Líneas de Tomografía Geoeléctrica.....	116
Tabla N° 36.Resultados línea de tomografía geoeléctrica LTG-1 .....	120
Tabla N° 37.Resultados línea de tomografía geoeléctrica LTG-2.....	122
Tabla N° 38.Resultados línea de tomografía geoeléctrica LTG-3.....	125
Tabla N° 39.Resultados línea de tomografía geoeléctrica LTG-4.....	127
Tabla N° 40.Resultados línea de tomografía geoeléctrica LTG-5.....	130

Tabla N° 41.Resultados línea de tomografía geoeléctrica LTG-6.....	132
Tabla N° 42.Resultados línea de tomografía geoeléctrica LTG-7.....	135
Tabla N° 43.Resultados línea de tomografía geoeléctrica LTG-8.....	137
Tabla N° 44.Instalación de piezómetros hidráulicos .....	140
Tabla N° 45.Inventario de fuentes de agua.....	142
Tabla N° 46.Inventario de manantiales .....	146
Tabla N° 47.Monitoreo de niveles freáticos .....	149
Tabla N° 48. Permeabilidad media por unidad hidrogeológica .....	160
Tabla N° 49.Precipitación total mensual en la zona de estudio .....	184

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.	Curva hipsométrica microcuenca 1 .....	39
Figura N° 2.	Polígono de frecuencias microcuenca 1 .....	39
Figura N° 3.	Curva hipsométrica microcuenca 2.....	40
Figura N° 4.	Polígono de frecuencias microcuenca 2 .....	40
Figura N° 5.	Relación entre la precipitación media anual y altitud .....	49
Figura N° 6.	Distribución mensual de la precipitación (mm).....	52
Figura N° 7.	Histograma de precipitación en el área de estudio .....	53
Figura N° 8.	Análisis precipitación años secos, húmedos y promedio ..	56
Figura N° 9.	Precipitación por año seco, húmedo y promedio .....	58
Figura N° 10.	Temperatura media mensual (°C).....	60
Figura N° 11.	Humedad relativa (%) – estación Animón.....	61
Figura N° 12.	Velocidad del viento– estación Animón .....	62
Figura N° 13.	Evaporación(mm) estación Upamayo.....	64
Figura N° 14.	Balance hídricoclimático .....	67
Figura N° 15.	Caudales generados en la microcuenca 1.....	71
Figura N° 16.	Caudales generados en la microcuenca 2.....	71
Figura N° 17.	Balance hídrico(mm) año seco .....	75
Figura N° 18.	Balance hídrico (mm) año húmedo.....	77
Figura N° 19.	Balance hídrico (mm) añopromedio.....	79

Figura N° 20.	Esquema ensayo de permeabilidad carga constante ....	97
Figura N° 21.	Histograma en piezómetros instalados.....	154
Figura N° 22.	Histograma piezómetro P-4 .....	155

## ÍNDICE DE LÁMINAS

Lámina 1.	Ubicación del proyecto .....	15
Lámina 2.	Esquema del depósito de relaves Alpamarca proyectado....	17
Lámina 3.	Geología regional de la zona del proyecto .....	19
Lámina 4.	Geología local de la zona del proyecto .....	28
Lámina 5.	Delimitación de microcuencas en la zona de estudio.....	36
Lámina 6.	Ubicación de estaciones meteorológicas .....	46
Lámina 7.	Plano de isoyetas.....	51
Lámina 8.	Investigaciones mediante perforaciones .....	85
Lámina 9.	Líneas de Tomografía Geoeléctrica .....	118
Lámina 10.	Líneas de tomografía Geoeléctrica LTG-1 y LTG-2 .....	123
Lámina 11.	Líneas de tomografía Geoeléctrica LTG-3 y LTG-4 .....	128
Lámina 12.	Líneas de tomografía Geoeléctrica LTG-5 y LTG-6 .....	133
Lámina 13.	Líneas de tomografía Geoeléctrica LTG-7 y LTG-8 .....	139
Lámina 14.	Piezómetros hidráulicos instalados.....	141
Lámina 15.	Inventario de fuentes de agua.....	143
Lámina 16.	Mapa de Hidroisohipsas.....	157

## RESUMEN

Compañía Minera Alpamarca, en su Unidad Minera del mismo nombre, tiene previsto el inicio de sus operaciones minero metalúrgicas, y para tal fin requiere la construcción de un nuevo depósito de relaves para la disposición final de los residuos provenientes del proceso metalúrgico. Este depósito se construirá en la quebrada Chingará a 0,5 kilómetros de la planta concentradora. En tal sentido, se requiere conocer las condiciones hidrogeológicas que se presentan en dicha quebrada, y la dinámica del flujo subterráneo existente en dicho sector. Las investigaciones ejecutadas en esta quebrada, han determinado que existe un acuífero libre con una potencia estimada de 15 m., subyaciendo se encuentra un acuífero fracturado y fisurado. Para la construcción del nuevo depósito de relaves, se recomienda la impermeabilización del sector del vaso, a fin de controlar la infiltración de flujos no deseados al acuífero existente y su conexión aguas abajo.

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Aspectos Generales**

Compañía Minera Alpamarca es una empresa que explota polimetálicos de plomo, cobre y zinc, y tiene previsto iniciar sus operaciones mineras a través de una Planta Concentradora, y consecuentemente la construcción de un nuevo depósito que almacenarán los residuos provenientes del proceso de flotación de relaves. Luego del estudio de alternativas, se determinó que el nuevo depósito de relaves será construido en la quebrada Chingará, ubicado a 0,50 kilómetros en línea recta; en dirección Noroeste de la Planta Concentradora.

### **1.2 Planteamiento del problema**

¿La construcción del nuevo depósito de relaves, ubicado en la quebrada Chingará modificará y/o alterará las condiciones y el comportamiento hidrogeológico del subsuelo en la zona de cierre y vaso de la relavera?

### **1.3 Objetivos**

Los objetivos del presente estudio son los siguientes:

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Caracterizar las condiciones hidrogeológicas del subsuelo donde se construirá el nuevo depósito de relaves Alpamarca.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Conocer el nivel freático existente en el área donde se construirá el nuevo depósito de relaves Alpamarca.
- Determinar las características hidráulicas del subsuelo mediante ensayos de permeabilidad.
- Conocer la zona de recarga y descarga del posible acuífero existente.
- Determinar las características geométricas e hidráulicas del sistema acuífero.
- Establecer lineamientos y condiciones para la construcción de la relavera.

## **1.4 Hipótesis**

La construcción del nuevo depósito de relaves, ubicado en la quebrada Chingará, modificará y/o alterará las condiciones y el comportamiento hidrogeológico del subsuelo en la zona del cierre y vaso de la relavera.

### **Variable Dependiente**

Las características hidrogeológicas de la quebrada Chingará.

### **Indicador**

Caudal de salida del acuífero existente en la quebrada Chingará

### **Variable Independiente**

Las variables independientes identificadas son las condiciones geológicas de los materiales presentes en la zona de estudio, la conductividad hidráulica de los diferentes estratos encontrados, y el monitoreo de la profundidad del nivel freático en los piezómetros instalados.

## **Indicador**

Los indicadores son los diferentes estratos de suelo y/o roca identificados en las investigaciones ejecutadas, los rangos de conductividad hidráulica de dichos materiales, y la profundidad del nivel freático en los piezómetros instalados.

### **1.5 Justificación**

El presente trabajo de tesis permitirá desarrollar la caracterización hidrogeológica mediante investigaciones geofísicas, perforaciones diamantinas, pruebas hidráulicas e instalación de piezómetros hidráulicos para determinar las condiciones y/o características hidrogeológicas del subsuelo de la quebrada Chingará; para establecer lineamientos y condiciones para la construcción del nuevo depósito de relaves.

### **1.6 Antecedentes**

La empresa minera no cuenta con estudios hidrogeológicos en el sector del emplazamiento del nuevo depósito de relaves Alpamarca.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Aspectos Generales**

"La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas), así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación" (Mijailov, L., 1985, p.285)

De acuerdo a la definición dada por Mijailov, la hidrogeología es una rama de la geología que estudia las aguas subterráneas en cuanto a su origen, almacenamiento y movimiento.

Para la construcción del depósito de relaves, en la quebrada Chingará, es importante y necesario conocer las condiciones hidrogeológicas del subsuelo donde se tiene previsto la ejecución de obras civiles.

## **2.2 Conceptos y Definiciones Básicas**

### **Perforación Diamantina**

Según González V. (2002) indica que, mediante máquinas pesadas se realizan perforaciones diamantinas que atraviesan el suelo y/o roca; recuperándose muestras tubulares del material encontrado. Conforme se va realizando la perforación diamantina, se ejecutan pruebas de resistencia o pruebas hidráulicas para caracterizar las diferentes capas de material. Dependiendo del objetivo del estudio, concluida la perforación diamantina se instala piezómetros hidráulicos con fines hidrogeológicos y de monitoreo.

### **Perforación Wash Boring**

González V. (2002) sostiene que, las perforaciones Wash Boring, son perforaciones livianas sin necesidad del uso de máquinas pesadas. Estas perforaciones son programadas en suelos blancos o saturados que no tienen la capacidad de soportar grandes pesos. Las perforaciones Wash Boring se ejecutan con la ayuda de un motor y un trípode, mediante tuberías que permiten extraer el material perforado.

## **Ensayos de Permeabilidad**

Según González V. (2002) manifiesta que, estos ensayos son mediciones por los cuales se obtienen valores indicativos de la permeabilidad del estrato en que se desarrolla la prueba. La permeabilidad es la capacidad de un medio (un suelo y/o roca) para permitir el paso del agua. No siempre las mediciones de permeabilidad ejecutadas con muestras en laboratorio son confiables ni concluyentes sobre el comportamiento del terreno, por ello es preciso efectuar ensayos in situ. El concepto permeabilidad puede recibir también las acepciones de conductividad hidráulica.

## **Piezómetro Hidráulico**

González V. (2002) indica que, el piezómetro hidráulico es una tubería vertical (puede ser de PVC u otro material similar) que se instala en el terreno, y su profundidad es variable, pudiendo alcanzar profundidades de varias centenas de metros. En la parte más profunda de la tubería, se dispone aberturas las cuales están protegidas con mallas o geotextiles que protejan e impidan el ingreso de partículas extrañas al

interior de la tubería. Dicha protección si permite el ingreso del agua subterránea al interior de la tubería, para su medición y monitoreo.

### **Nivel freático**

El nivel freático corresponde al nivel superior de la capa freática o de un acuífero en general. A menudo en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica, ya que se encuentra en conexión directa con la atmósfera sin una capa confinante (González V. 2002).

### **Acuífero Libre**

Según Holmes Arthur (1964) denomina acuífero libre, como las formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua, a través de poros o grietas. Recibe el concepto de “libre” debido a que se encuentra en directo contacto con la zona subsaturada del suelo. En este tipo de acuíferos la presión de agua en la zona superior es igual a la presión atmosférica, aumentando en profundidad a medida que aumenta el espesor saturado.

### **Acuífero Confinado**

Holmes Arthur (1964) sostiene que el acuífero confinado, son aquellas formaciones en las que el agua subterránea se encuentra encerrada entre dos capas impermeables y es sometida a una presión distinta a la atmosférica. Sólo recibe el agua de lluvia por una zona en la que existen materiales permeables, (zona de recarga).

### **Acuitardos**

González de Vallejo (2002) define a los acuitardos, como las formaciones geológicas capaces de almacenar agua en cantidades importantes, pero la transmiten con dificultad; se suelen denominar con frecuencia formaciones semi permeables como limos, arenas arcillosas, arcillas, etc.)

### **Acuicludos**

González de Vallejo (2002), define a los acuicludos como formaciones geológicas que pueden almacenar gran cantidad de agua, pero no tienen la posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha

dificultad; el agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas, arcillas plásticas, limos, etc.)

### **Acuífugos**

González de Vallejo (2002), son formaciones geológicas incapaces de almacenar y transmitir agua, están representados por rocas compactas, como granitos, gneis, etc.

### **2.3 Revisión de estudios anteriores**

Beynon et al. (2000), indica que a partir de los años 1960, los posibles impactos ambientales de la minería han sido más polémicos, al punto que las desaprobaciones ambientales han sido frecuentemente el principal obstáculo para el desarrollo de nuevas minas o de la ampliación de las existentes. El incremento en la polémica sobre los impactos ambientales de la minería es debido a la combinación de varios factores, entre los cuales cabe mencionar los siguientes:

- El incremento de la inconsciencia medio ambiental en todos los sectores de la sociedad en los años 1980 y 1990.

- El agotamiento de los recursos minerales en zonas mineras, llevando esto a la exploración de nuevas zonas, incluyendo áreas de conservación, como bosques nativos o reservas indígenas.
- El incremento de minas a cielo abierto, las cuales se diferencian de las minas subterráneas por tener mayor impacto visual.
- Un sin número de incidentes de contaminación, ocasionados por minas informales, activas o abandonadas, los cuales han ocurrido en todos los continentes (UNEP, 1996; ICOLD, 2001).

En términos de sistemas de aguas subterráneas, la explotación de minas subterráneas de considerable profundidad en acuíferos someros, resulta en la disminución del nivel del agua en el acuífero (Booth y Spande, 1992; Zipper et al. 1997). En algunos casos el nivel del agua en el acuífero se recupera al cesar la explotación minera (Booth y Spande, 1992), mientras que en otros casos la disminución del nivel del agua es permanente (Booth et al., 1998).

Monsalve et al., (1995) sostiene que la escorrentía superficial, es el fenómeno más importante desde el punto de vista de ingeniería, y consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre. La mayoría de estudios hidrológicos están orientados al aprovechamiento

del agua superficial y a la protección contra los fenómenos provocados por su movimiento. De la precipitación que alcanza el suelo, parte queda retenida ya sea en depresiones o como película en torno a partículas sólidas. Del excedente de agua retenida, parte escurre superficialmente y otra se evapora y en menor porcentaje se infiltra. Se define como exceso de precipitación a la precipitación total caída al suelo menos la retenida e infiltrada.

El impacto ocasionado por el drenaje de las minas varía desde impactos insignificantes en el caso de minas superficiales pequeñas (Streetley, 1998; Wardrop et al., 2001) hasta grandes disminuciones del nivel del agua subterránea y de aguas superficiales.

## **CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Características Generales del proyecto**

#### **3.1.1 Ubicación**

La mina Alpamarca políticamente se encuentra en la región Junín, provincia de Yauli, distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, en la región central del Perú, a una altitud promedio de 4640 msnm, en el flanco Oriental de la Cordillera Occidental de los Andes.

#### **3.1.2 Accesibilidad**

El acceso principal es a través de la carretera Lima – Canta, la cual se encuentra asfaltada, para luego seguir una carretera afirmada hasta la unidad minera, con un recorrido total de 170 kilómetros.

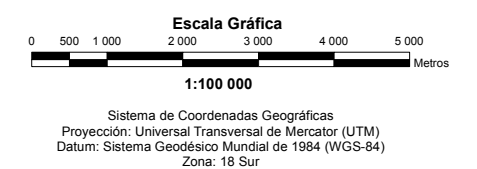
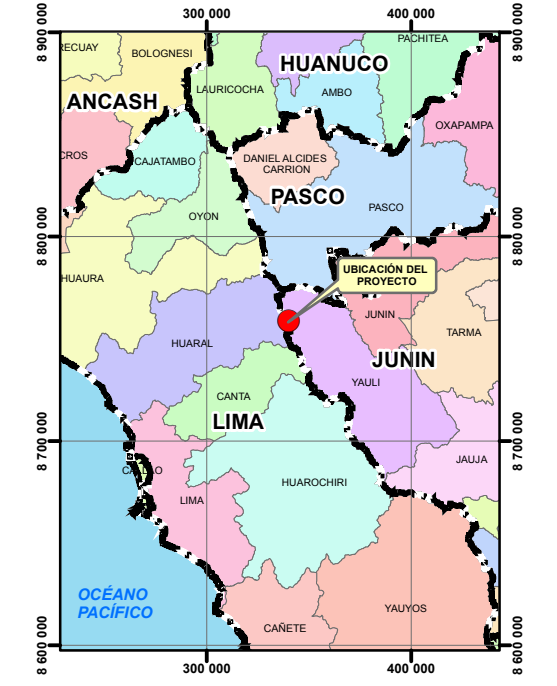
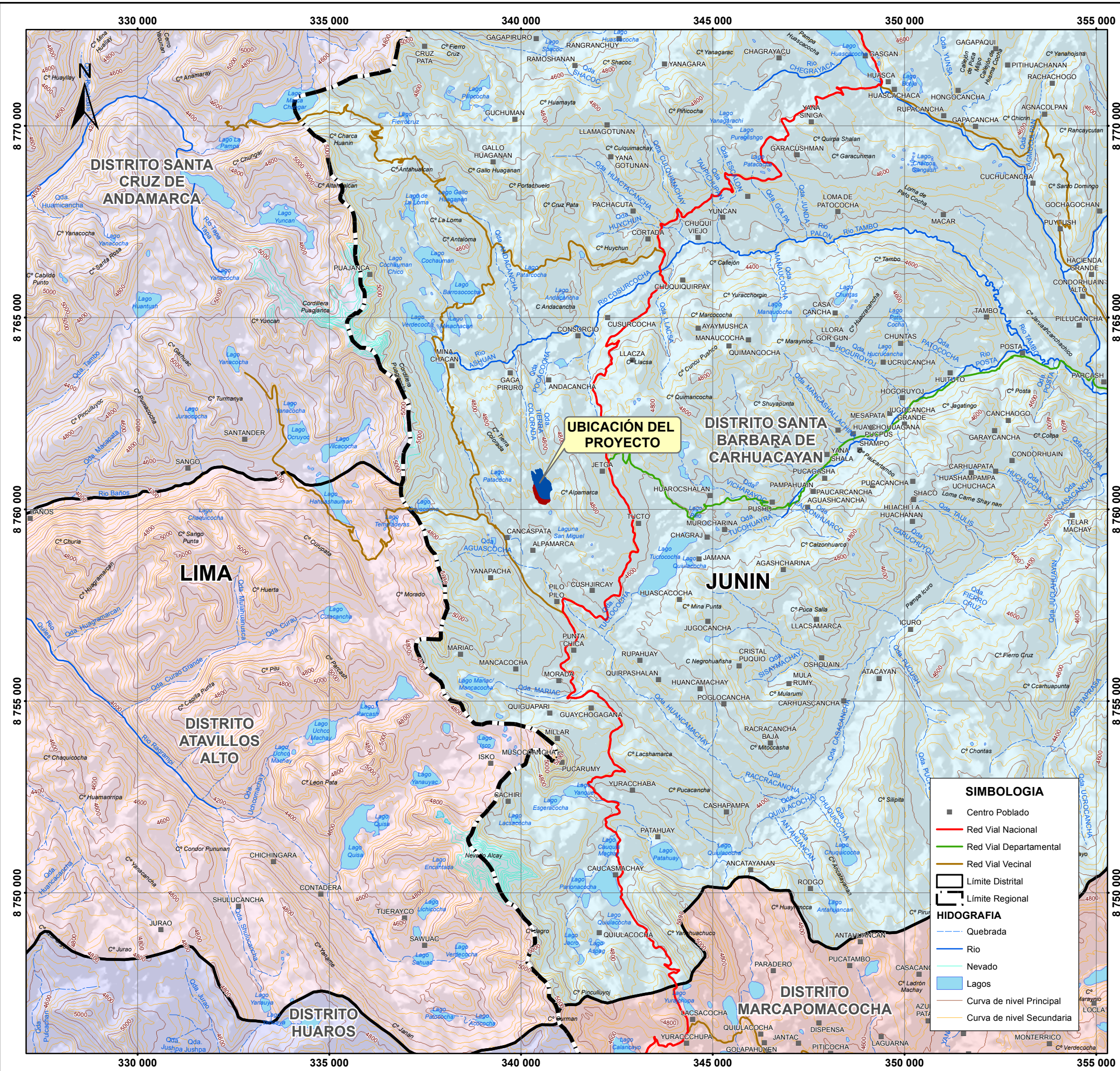
En el Tabla N°1 se muestra el detalle de recorrido hacia la unidad minera.

**Tabla N° 1. Vías de acceso a la zona del proyecto**

Tramo	Distancia (Km.)	Tipo de carretera
Lima – Canta	102,00	Asfaltada
Canta – Alpamarca	70,00	Afirmada
TOTAL	172,00	

Fuente: Elaboración Propia

En la Lámina N° 1 se muestra la ubicación del proyecto.



- SIMBOLOGIA**
- Centro Poblado
  - Red Vial Nacional
  - Red Vial Departamental
  - Red Vial Vecinal
  - ▭ Límite Distrital
  - ▭ Límite Regional
- HIDROGRAFIA**
- Quebrada
  - Río
  - Nevado
  - Lagos
  - Curva de nivel Principal
  - Curva de nivel Secundaria


**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO: **PLANO DE UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File	LAMINA N° 01
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:100 000	N° Plano	Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 01	M.D.L.T.

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.  
 -Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

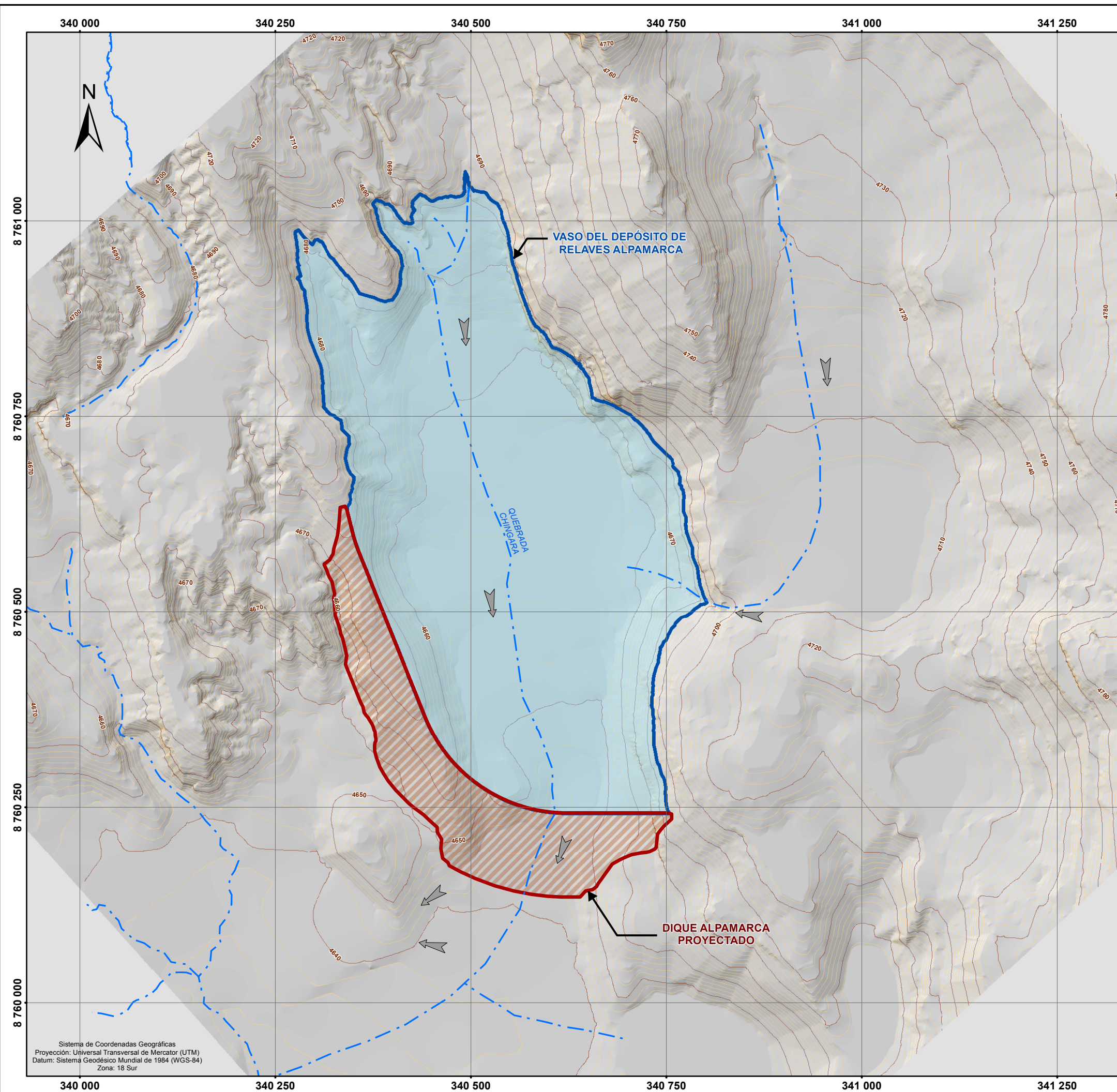


### **3.2 Sector de Emplazamiento de la Presa Alpamarca**

Luego de una evaluación de alternativas para determinar el sector donde se ubicará el nuevo depósito de relaves; la Compañía Minera Alpamarca, definió que la quebrada Chingará cumplía con las condiciones geomorfológicas e hidrogeológicas para el almacenamiento de relaves. La quebrada Chingará corresponde a un valle glaciar en forma de “U”, bordeada en ambos flancos de afloramientos rocosos, y el cierre de la quebrada corresponde a un ligero estrangulamiento de la quebrada, lugar donde se ubicará el eje de la presa, significando una optimización para la construcción y movimiento de tierras en la conformación de la obra.

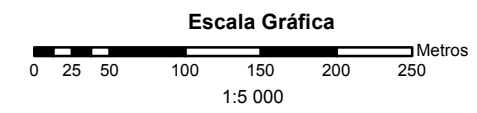
El programa de investigaciones con fines hidrogeológicos tuvo una distribución espacial, de tal manera que se lograron estudiar los sectores del eje de la presa, así como el vaso del depósito y aguas abajo del mismo.

En la Lámina N° 2 se muestra el sector de emplazamiento del nuevo depósito de relaves Alpamarca en la quebrada Chingará.



**LEYENDA**

- - - QUEBRADA
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
- DIQUE ALPAMARCA PROYECTADO
- VASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES ALPAMARCA



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

---

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

---

TÍTULO DEL PLANO: **ESQUEMA DEL NUEVO DEPÓSITO DE RELAVES ALPAMARCA**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V	File	LAMINA N° 02
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:5 000	N° Plano	Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 02	M.D.L.T.

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.  
 -Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)  
 Datum: Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84)  
 Zona: 18 Sur

## **CAPITULO IV: MARCO GEOMORFOLÓGICO GEOLÓGICO**

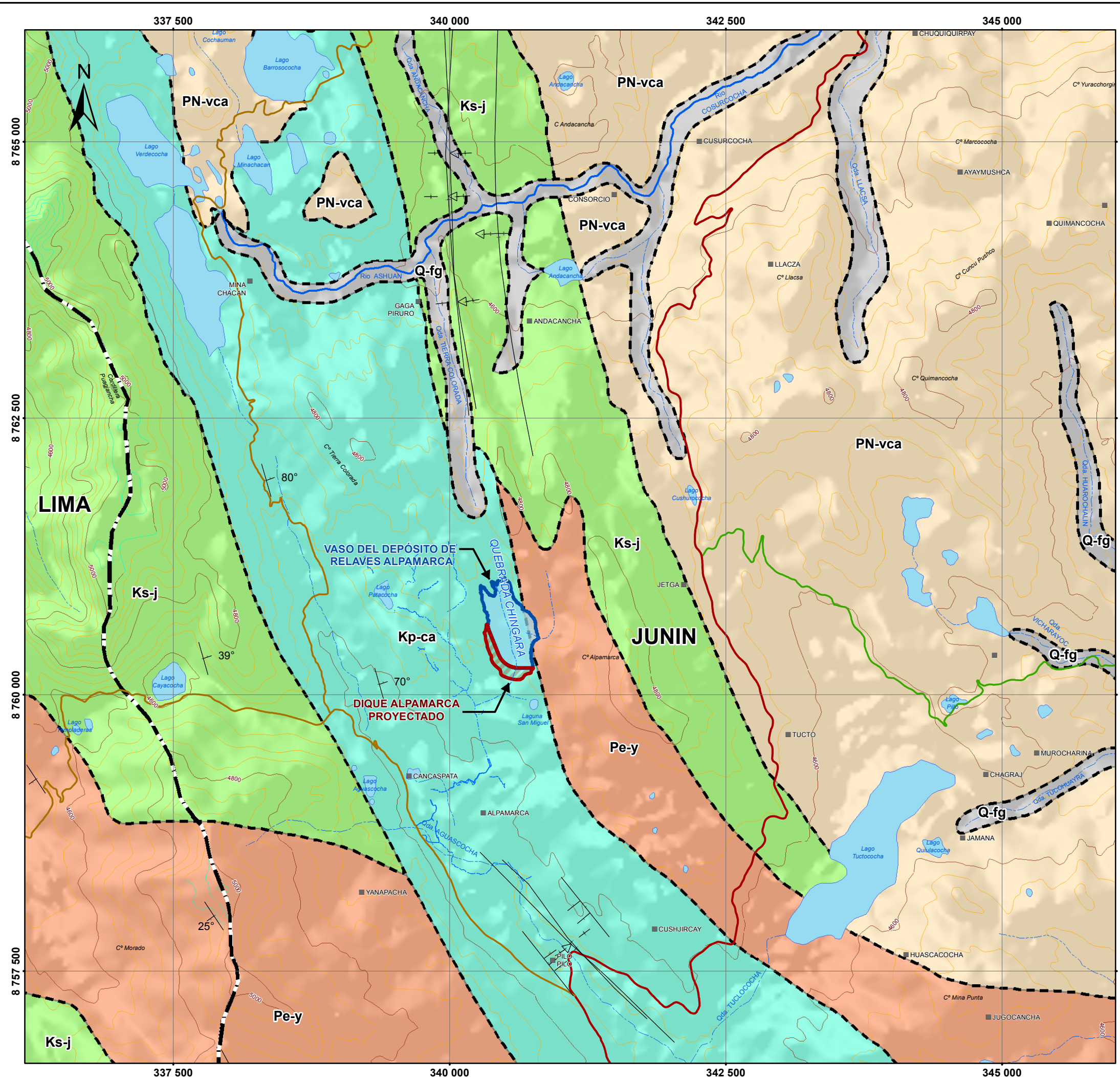
### **4.1 Marco geomorfológico geológico regional**

#### **4.1.1 Geomorfología regional**

El área de estudio se encuentra emplazada en la Vertiente Oriental de la Cordillera Occidental de los Andes.

La morfología que ostenta el área de estudio es el resultado de los efectos degradatorios causados por los agentes de meteorización y tectónicos que han actuado sobre las unidades litológicas sedimentarias y volcánicas-sedimentarias representados por las formaciones Casapalca y el Grupo Calipuy respectivamente.

Dentro de los agentes meteorizantes que han tenido un papel preponderante en el modelado actual del área de estudio, se considera de mayor importancia a la última glaciación del Pleistoceno, conjugada con la temperatura del medio ambiente, las precipitaciones pluviales, la escorrentía superficial, entre otras. Las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio han sido definidas considerando criterios geográficos, morfoestructurales y litológicos.



**LEYENDA GEOLÓGICA**

SISTEMA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO
CUATERNARIO	Depósitos Fluvioglaciares	Q-fg
NEOGENO	Grupo Calipuy	PN-vca
PALEOGENO	Formación Yantac	Pe-y
CRETÁCEO	Formación Casapalca	Kp-ca
	Formación Jumasha	Ks-j

**SIMBOLOGIA**

- Red Vial Vecinal
- Red Vial Nacional
- Red Vial Departamental
- Contacto Geológico
- Límite Regional

**HIDROGRAFIA**

- Quebrada
- Río
- Nevado
- Lagos

**Estructura Geológica**

- Falla Conocida
- Anticlinal definido
- Sinclinal definido
- Rumbo y Buzamiento de estratos
- Rumbo de estratos con buzamiento moderado
- Contacto inferido



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO:  
**GEOLÓGIA REGIONAL**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File	LAMINA N° 03
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:35 000	N° Plano	Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 03	M.D.L.T.

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.  
 -Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET.

## **4.1.2 Estratigrafía regional**

En el área del proyecto afloran las siguientes unidades estratigráficas:

### **4.1.2.1 Cretáceo**

#### **a) Formación Jumasha (Ks-j)**

Esta formación consiste de calizas gris a gris parduzcas masivas, en bancos medianos a gruesos, muy resistentes a la erosión. Morfológicamente presenta picos agrestes, escarpados y conspicuos. Esta unidad se caracteriza por estar plegada, presentando perfectos anticlinales y sinclinales con ejes de dirección andina. Se presentan afloramientos de esta formación, al Noreste y Oeste de la zona de estudio.

#### **b) Formación Casapalca (Kp-ca)**

Pertenece al Cretáceo Inferior – Paleógeno. Aflora. La litología de la Formación Casapalca consiste en limolitas y areniscas de color beige

friables y suaves, margas que tienen un color rojo característico, con intercalaciones de calizas, mucho más compactas.

Como característica importante esta formación presenta perfectos anticlinales y sinclinales con rumbos de dirección NNO y cubren gran parte de la paleosuperficie en discordancia sobre rocas sedimentarias del Cretáceo superior.

Esta unidad aflora al Oeste del área del proyecto.

#### **4.1.2.2 Paleógeno**

##### **a) Formación Yantac(Pe-y)**

Descansa en discordancia sobre la Formación Casapalca, la misma que fue depositada después del periodo de plegamiento, erosión y levantamiento que afectaron a la formación Casapalca y que culminaron con una amplia superficie de erosión.

Esta formación está constituido de areniscas, conglomerados, tobas, y algunos niveles de derrames lávicos andesíticos. Sus mejores

afloramientos se observan hacia el lado sur occidental de Santa Bárbara de Carhuacayán.

En la ruta de la mina Alpamarca, se observan capas estratificadas de sedimentos, areniscas y conglomerados compactos de color abigarrado.

En la zona de estudio, se presentan afloramientos al lado Este y Suroeste de la zona de estudio.

#### **4.1.2.3 Neógeno**

##### **a) Grupo Calipuy (PN-vca)**

Conformada por secuencias de volcánicos sedimentario en posición subhorizontal.

El Grupo Calipuy en la zona descansa en discordancia sobre la Formación Casapalca, la misma que fue depositada después del periodo de plegamiento, erosión y levantamiento que afectaron a la formación Casapalca y que culminaron con una amplia superficie de erosión. Este

grupo está constituido por rocas piroclásticas gruesas, lavas ácidas e ignimbritas dacíticas. En ocasiones por depósitos sedimentarios constituidos de lutitas, areniscas y calizas.

Se presentan afloramientos de este grupo al Este de la zona del proyecto.

#### **4.1.2.4 Depósitos cuaternarios (Qh-fl, Qh-al)**

Conformado por los depósitos de cobertura no consolidados, y que tienen una distribución irregular en la zona de estudio.

##### **a) Depósitos fluvioglaciares (Qh-fl)**

Están conformados por una mezcla heterogénea de gravas subangulosas a subredondeadas en matriz de arena y arcilla consolidada que conserva bloques erráticos.

Se exponen en geoformas planas, de baja pendiente que forman pequeñas peneplanicies. Presentan permeabilidad de regular a buena.

#### **b) Depósitos aluviales (Qh-al)**

Estos depósitos están conformados por gravas y arenas, y generalmente se presentan sueltos. Se encuentran relleno de los cauces de los ríos principales y secundarios de la zona de estudio.

#### **4.1.3 Aspectos geoestructurales**

Los episodios de plegamiento ocurridos a nivel regional son un indicativo fuerte de la deformación; el principal y máximo esfuerzo fue orientado de SO-NE, dando como resultado pliegues orientados de NO-SE, de orientación principal andina.

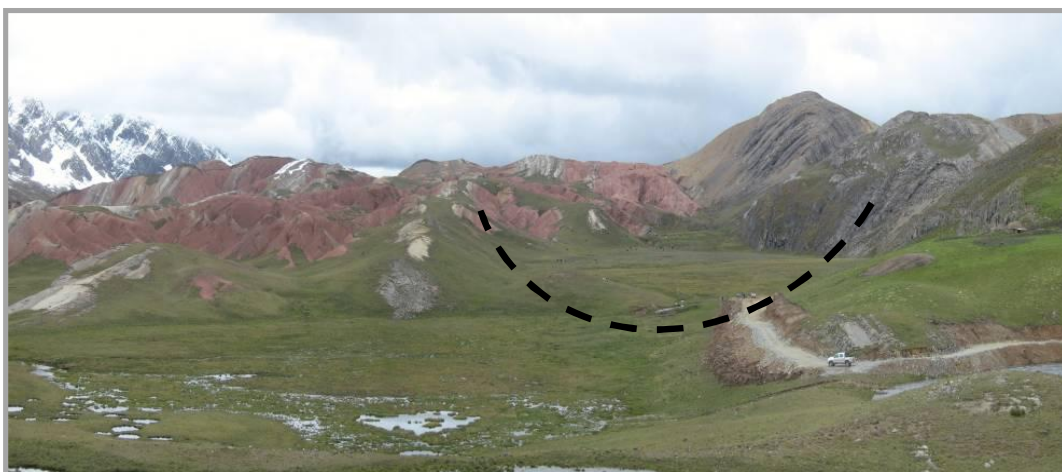
Las fuerzas orogénicas que actuaron en épocas Pre-Paleógeno y Paleógeno han plegado en forma intensa los sedimentos depositados; habiéndose desarrollado estructuras de tipo sinclinal como anticlinal, ocasionado por fuerzas compresivas afectando unidades sedimentarias del Cretáceo y Paleógeno. Se observan además un sistema de fallas de orientación NE-SO a NO-SE y fallas inversas de tipo cabalgamiento de dirección global NO-SE afectando unidades cretáceas que ocurren en el lado de la vertiente Oeste y Este en este segmento de la Cordillera Occidental de los Andes.

## 4.2 Marco geomorfológico geológico local

### 4.2.1 Geomorfología local

Geomorfológicamente el escenario del estudio se encuentra emplazado en la unidad geomorfológica denominada “superficie Puna” caracterizado por presentar una topografía de relieves ondulados; con altitudes que varían de 4600 a 4850 msnm con valles de origen glacial en forma de “U”, tal como se muestra en la fotografía Nro. 01.

**Fotografía Nro. 01:** Vista de la quebrada Chingará, sector donde se construirá el nuevo depósito de relaves Alpamarca, correspondiente a valle glacial en forma de “U”



Fuente: Reconocimiento geológico de campo.

## **4.2.2 Estratigrafía local**

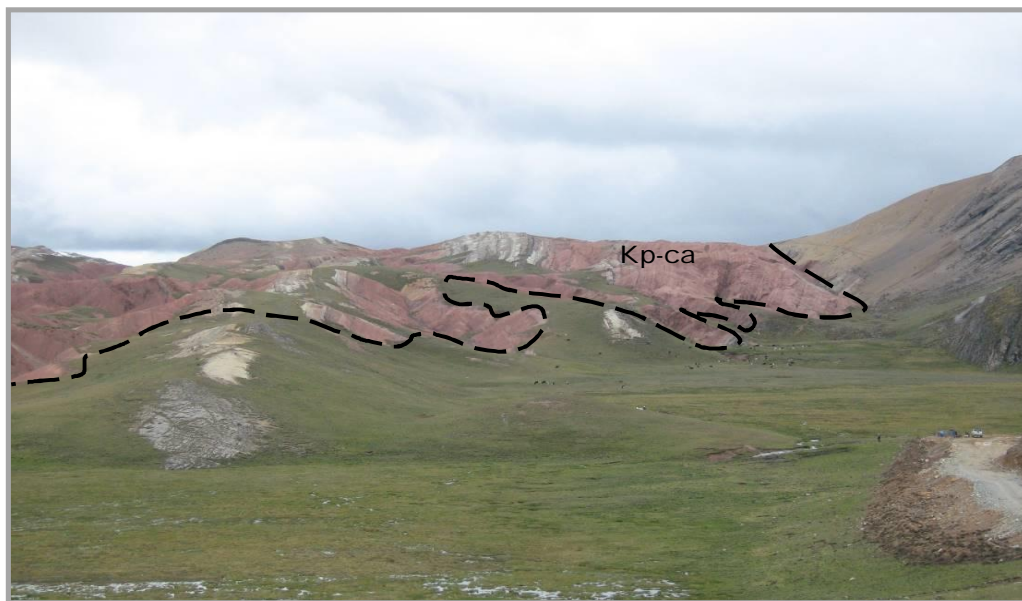
En la Lámina N° 4 se muestra las unidades geológicas presentes en la zona de estudio a escala local.

### **4.2.2.1 Cretáceo**

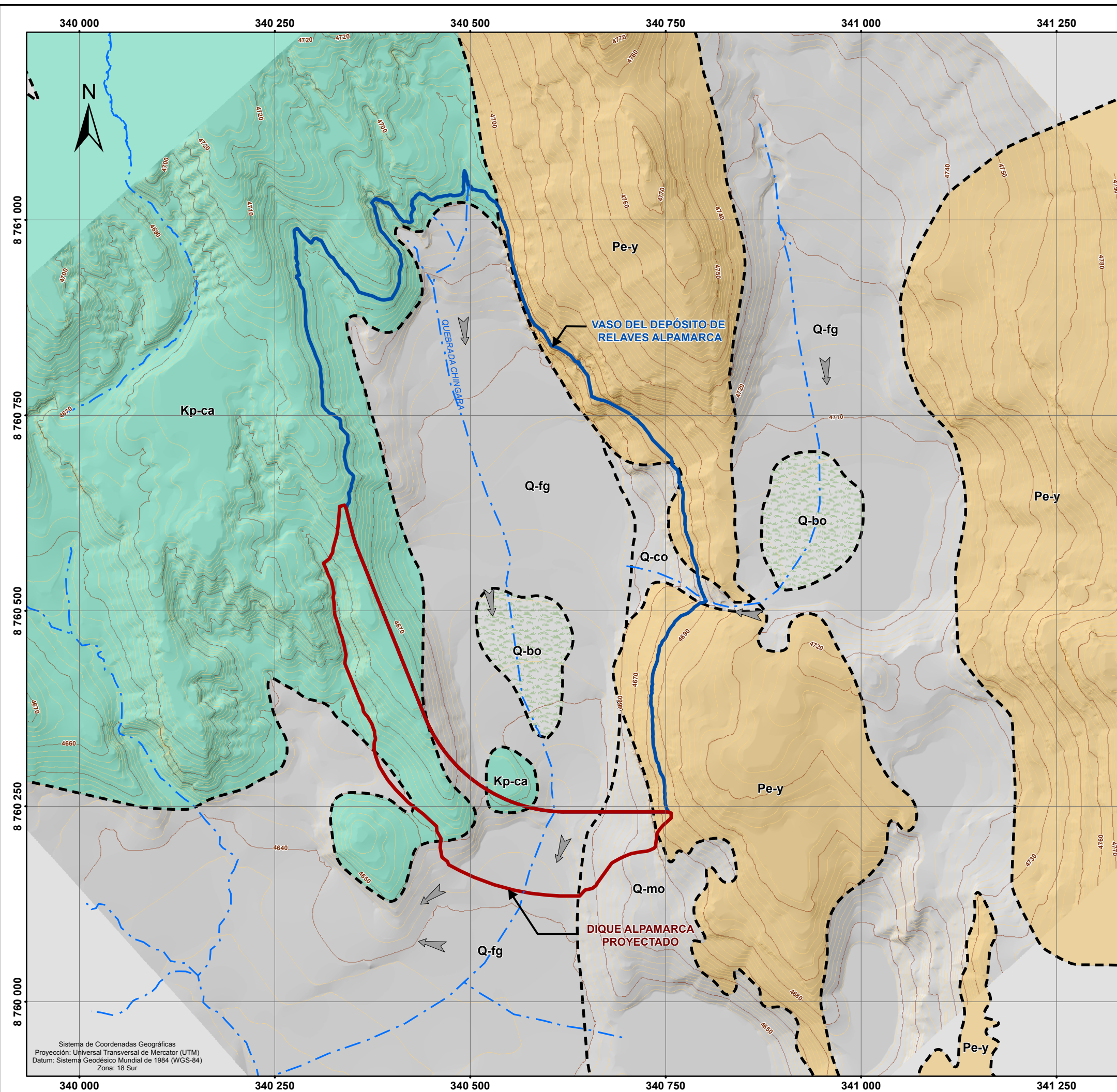
#### **a) Formación Casapalca(Kp-ca)**

Se presentan afloramientos de la formación Casapalca en la margen derecha de la quebrada Chingará. Esta formación está conformada por areniscas y lutitas rojas semiconsolidadas, conocidas también como “capas rojas”. Se encuentran superficialmente algo alteradas y fracturadas; y ocasionalmente cubiertas por depósitos cuaternarios coluviales. Ver fotografía Nro. 02.

**Fotografía Nro. 02:** Vista de afloramientos de la formación Casapalaca (capas rojas) en la margen derecha de la quebrada Chingará.



Fuente: Levantamiento geológico



**LEYENDA GEOLÓGICA**

SISTEMA	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO
CUATERNARIO	Fluvioglaciares	Q-fg
	Bofedal	Q-bo
	Morrena	Q-mo
PALEOGENO	Yantac	Pe-y
CRETÁCEO	Casapalca	Kp-ca

**LEYENDA**

- QUEBRADA
- - - CONTACTO GEOLÓGICO
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
- DIQUE ALPAMARCA PROYECTADO
- VASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES ALPAMARCA

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO:				
<b>GEOLOGIA LOCAL</b>				
Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File LAMINA N° 04
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:5 000	N° Plano Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 04 M.D.L.T.

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN. Cartas Nacionales 1:100 000  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.  
 -Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET.



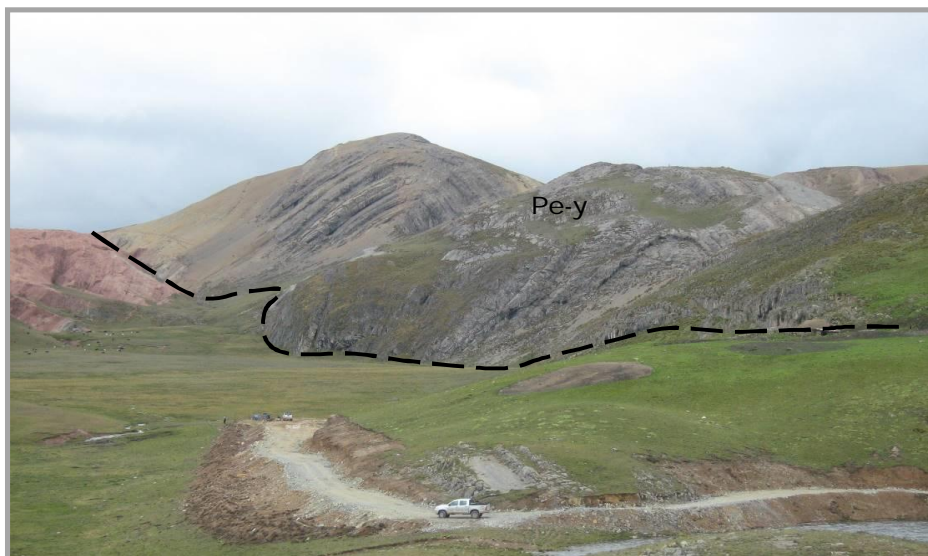
Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)  
 Datum: Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84)  
 Zona: 18 Sur

#### 4.2.2.2 Paleógeno

##### a) Formación Yantac (Pe-y)

Constituido por rocas piroclásticas gruesas, lavas e ignimbritas. Se presentan afloramientos en la margen izquierda de la quebrada Chingará. Se presentan poco alteradas y fracturadas en superficie. En la fotografía Nro. 03 se observa afloramientos de la formación Yantac.

**Fotografía Nro. 03:** Afloramientos de la formación Yantac en la margen izquierda de la quebrada Chingará



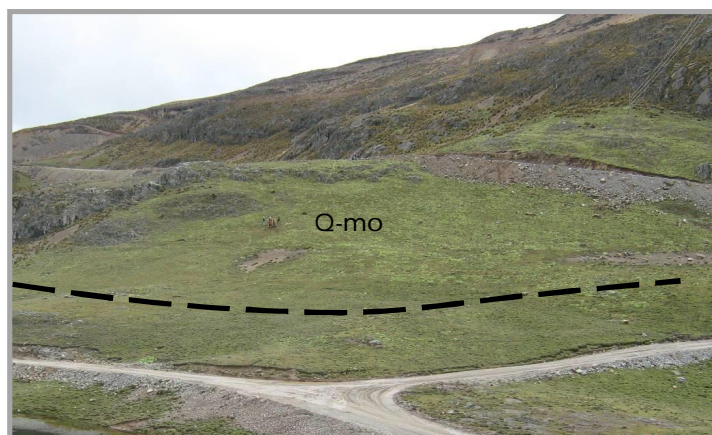
Fuente: Levantamiento geológico

#### 4.2.2.3 Depósitos cuaternarios

##### a) Morrenas (Q-mo)

Estos depósitos son producto de la glaciación, y se encuentran a manera de lomadas, constituidas por bloques y gravas englobadas en una matriz arenosa y arcillosa pobremente clasificados, con una pseudo estratificación como testigos de fusiones estacionales durante el periodo glaciario. En la zona de estudio, se presentan morrenas en la margen izquierda de la quebrada Chingará. En la fotografía Nro. 04 se aprecia morrenas.

**Fotografía Nro. 04:** Morrenas en la margen izquierda de la quebrada Chingará.



Fuente: Levantamiento geológico

**b) Bofedal (Q-bo)**

Los depósitos de bofedal se encuentran en el sector de la quebrada Chingará, donde las condiciones topográficas han formado hoyadas y han sido rellenadas por materiales inconsolidados de naturaleza arcillo gravosas o gravas arcillosas, en estado húmedo a saturado, los finos son de mediana a alta plasticidad. Los depósitos de bofedal aumentan su grado de saturación en la época húmeda, mientras que en la época de estiaje sufren un descenso en su grado de saturación. Ver fotografía Nro. 05.

**Fotografía Nro. 05:** Bofedales en la parte baja de la quebrada Chingará



Fuente: Levantamiento geológico

**c) Fluvioglacial (Q-fg)**

Conformado por gravas arenosas en matriz limosa arcillosa. El fondo de la quebrada Chingará está tapizado por estos depósitos, presentando permeabilidad de regular a baja. En la fotografía Nro. 06 se observa los depósitos fluvioglaciares.

**Fotografía Nro. 06:** Depósitos fluvioglaciares en el fondo de la quebrada Chingará



Fuente: Levantamiento geológico

### **4.2.3 Riesgo geodinámico**

Los procesos geodinámicos que ocurren en el área de estudio están relacionados directamente con las temporadas de fuertes precipitaciones (lluvia, nieve, granizo) que tienen lugar preferentemente en los meses de enero a marzo.

Estos procesos geodinámicos dan lugar a la generación de flujos de lodo, caídas de rocas y coluvios, dichos fenómenos geodinámicos son de poca magnitud y relevancia y no significan mayor peligro para la seguridad de futuras obras que pudieran llevarse a cabo en el proyecto.

## **CAPITULO V: HIDROMETEOROLÓGICO**

### **5.1 Aspectos hidrometeorológicos**

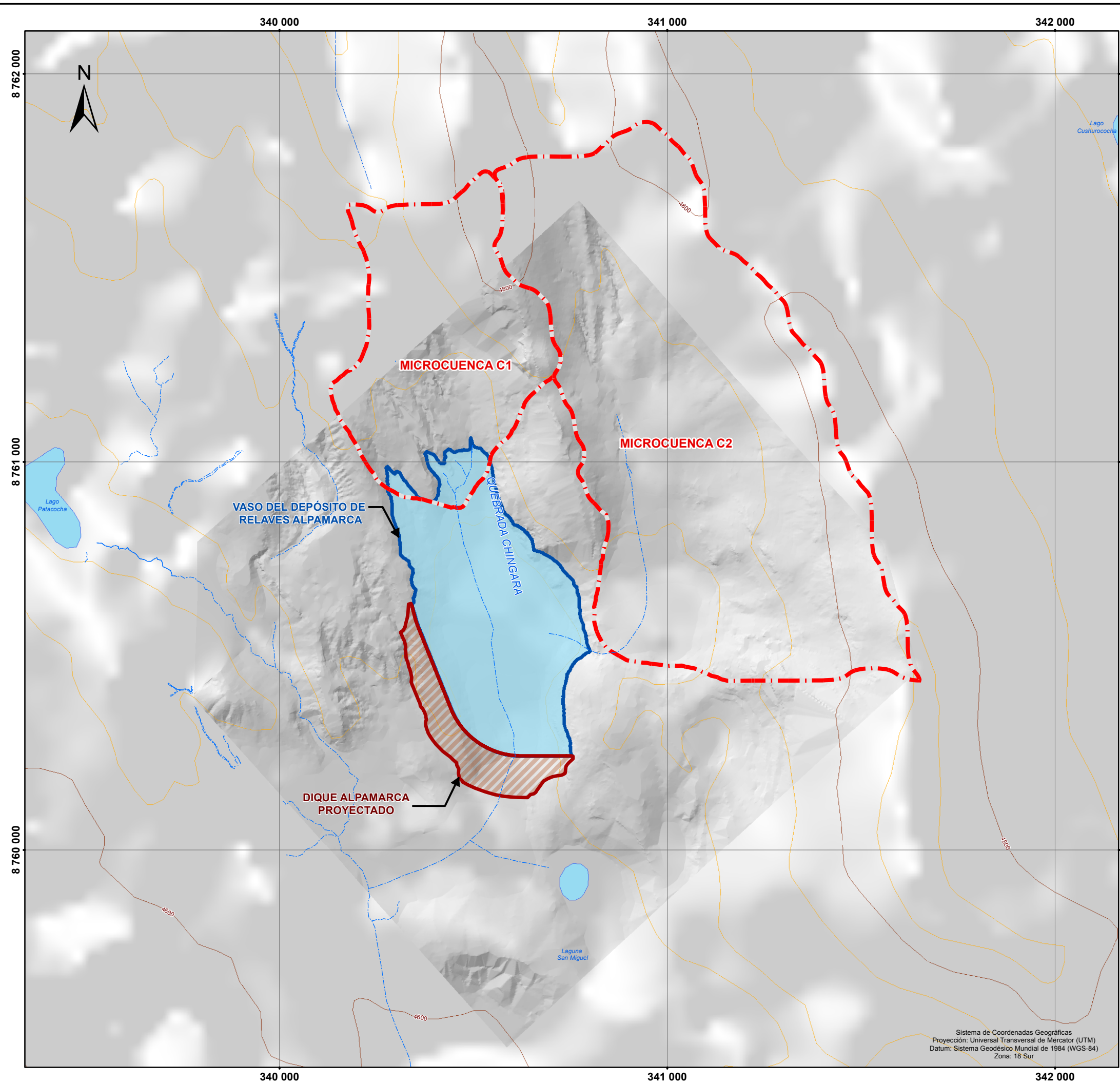
Este capítulo, está orientado a determinar, en base a la información hidrológica de la zona del proyecto, las características de escorrentía o ingreso al depósito de relaves Alpamarca. Conocido este ingreso, es posible determinar la magnitud del flujo subterráneo tanto en cabecera del embalse como en el entorno y dominio del depósito de relaves.

El cálculo de la escorrentía en las microcuencas adyacentes al depósito de relaves, permite conocer las descargas medias mensuales, aproximar su caudal base y finalmente estimar la magnitud de la recarga al sistema de aguas subterráneas (Infiltración).

#### **5.1.1 Parámetros geomorfológicos**

Para poder determinar los parámetros geomorfológicos en la zona del depósito de relaves, se ha delimitado las microcuencas que tienen influencia en el sector de estudio. Se ha determinado que existen 2 microcuencas, denominadas microcuenca 1 y microcuenca 2. En la

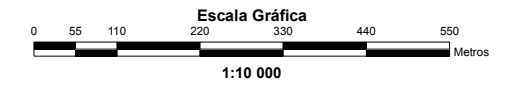
Lamina N° 5, se presenta las microcuencas que recargan o aportan el sistema hídrico al sector del embalse.



**LEYENDA**

- - - QUEBRADA
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
- - - LÍMITE DE MICROCUENCA
- ▨ DIQUE ALPAMARCA PROYECTADO
- VASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES ALPAMARCA

PARÁMETROS	MICROCUENCA C1	MICROCUENCA C2
Area (Km <sup>2</sup> )	0,32	0,81
Perimetro (Km)	2,47	4,10
Elevacion Media (m.s.n.m)	4 700	4 740
Pendiente de la Cuenca %	25,50	23,75
Factor de Forma	0,63	0,49



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

---

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

---

TITULO DEL PLANO:  
**MAPA DE MICROCUENCAS**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File:	LAMINA N° 05
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:10 000	N° Plano:	Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 05	M.D.L.T.

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.  
 -Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)  
 Datum: Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84)  
 Zona: 18 Sur

En el Tabla N° 2 se presenta el resumen de los parámetros geomorfológicos de las microcuencas señaladas en la lámina anterior.

**Tabla N° 2. Parámetros geomorfológicos de las microcuencas**

Parámetros	Microcuencas hidrográficas	
	C1	C2
Area (Km <sup>2</sup> )	0,32	0,81
Perímetro (Km)	2,47	4,10
Elevación Media (msnm)	4 700	4 740
Pendiente de la Cuenca %	25,50	23,75
Factor de Forma	0,63	0,49
RectánguloEquivalente		
Longitud Mayor (Km)	0,86	1,51
LongitudMenor (Km)	0,37	0,54
Longitud del Cauce Principal (Km)	0,72	1,28
Longitud Total del Cauce (km)	5,96	13,72
Coefficiente de Compacidad (Kc)	1,22	1,27
Orden de Ríos	3r orden	4to orden
Densidad de Drenaje (Km/km <sup>2</sup> )	18,57	16,92
Altitud máxima del cauce (m)	4 801	4 831
Altitud minina del cauce (m)	4 624	4 666
Pendiente Media del Cauce Principal (m/m)	3,62	5,35
Extensión Media del Escurrimiento (m)	112,13	158,40
Coefficiente de Torrencialidad (ríos/km <sup>2</sup> )	37,42	16,03

Fuente: Elaboración Propia

Conocidas las características geomorfológicas de las 2 microcuencas que aportan al depósito de relaves Alpamarca, se evalúa la curva hipsométrica y polígono de frecuencias para cada microcuenca.

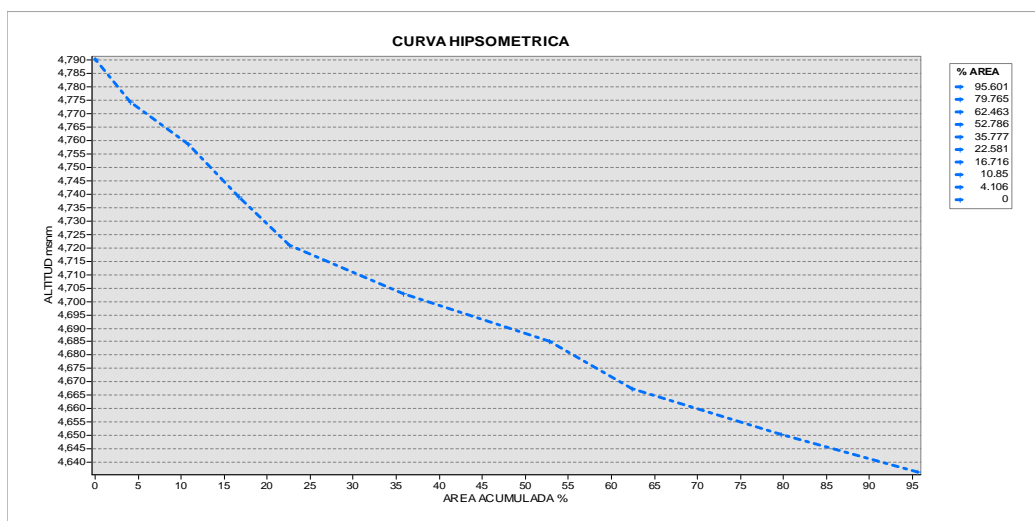
- **Curva hipsométrica**

La curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada. Para indicar la proporción de superficie con relación a la altitud se ha utilizado un diagrama de curvas donde el eje vertical representa las altitudes y el eje horizontal los porcentajes acumulados de superficie. Esta información es relevante para considerar el efecto de la altitud sobre la temperatura y precipitación (ver Figuras N° 1 y N° 3).

- **Polígono de frecuencias**

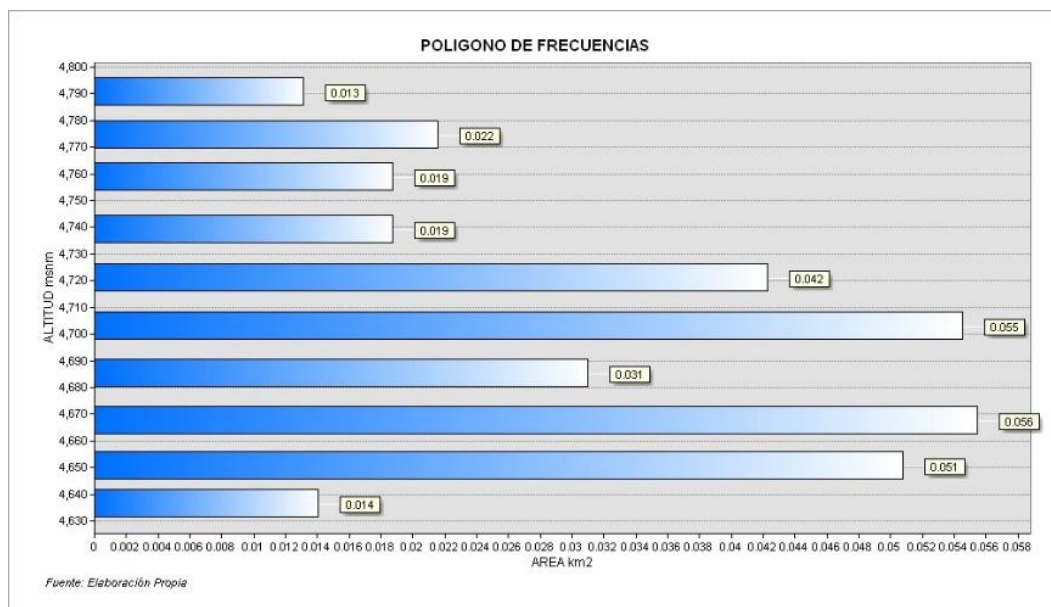
Se define como la proporción, en porcentaje de la superficie total de la cuenca comprendida entre curvas de nivel (rangos de altitud), el eje vertical representa la altitud y el eje horizontal el área o superficie. Esta información es complementaria a las curvas hipsométricas (ver Figuras N° 2 y N° 4).

**Figura N° 1. Curva hipsométrica microcuenca 1**



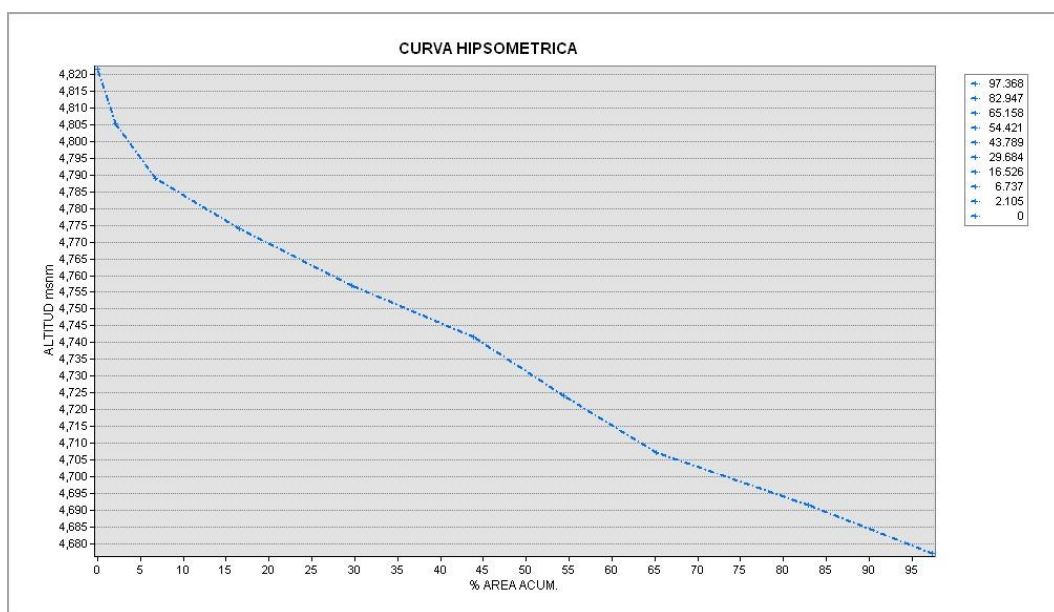
Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 2. Polígono de frecuencias microcuenca 1**



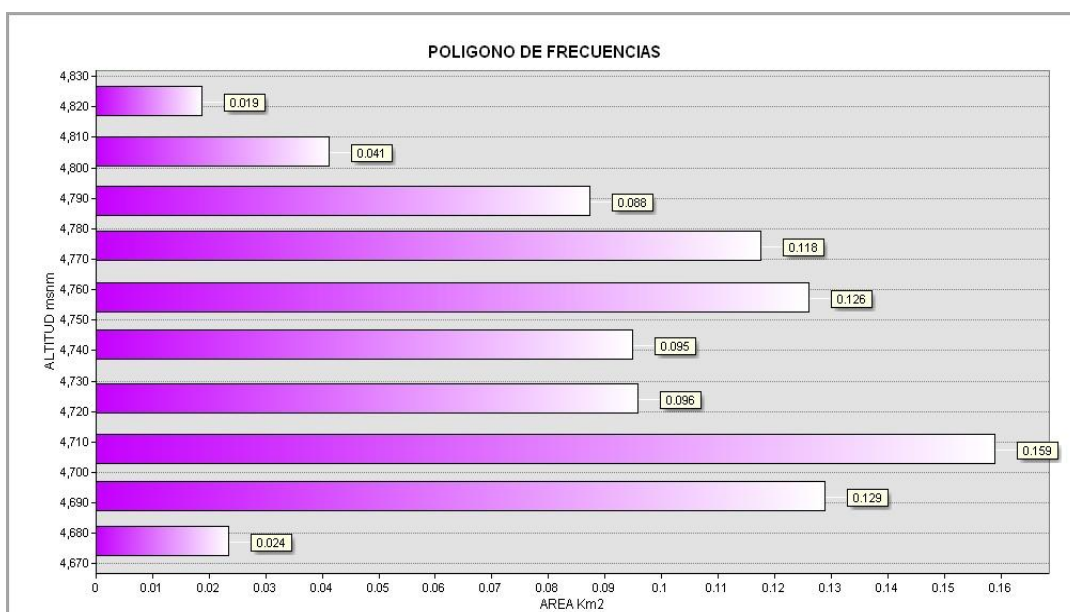
Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 3. Curva hipsométrica microcuenca 2**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 4. Polígono de frecuencias microcuenca 2**



Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.2 Clima y meteorología

El área del proyecto corresponde a una zona de los Andes centrales, con una elevación media de cuenca entre 4000 y 5000 msnm, aproximadamente. El clima es frío y seco, con baja humedad relativa, como corresponde a la región Puna, con presencia estacional de grandes precipitaciones.

De acuerdo a la clasificación climática; según el sistema de clasificación de Warren Thornthwaite (SENAMHI 1988) y el Mapa Climatológico del Perú (SENAMHI 2009), la zona de estudio presenta diversos climas; las cuales se identificaron relacionando los parámetros meteorológicos de temperatura, precipitación y la humedad relativa.

La zona de estudio por encontrarse a una altitud mayor a los 4000 msnm, presenta los siguientes climas:

**Clima del tipo lluvioso, semifrío (B(i) D' H3):** El cual presenta una humedad relativa entre 65% y 84 %, escasez de lluvias entre abril y septiembre y seco en invierno.

**Clima del tipo lluvioso, frío (B(o,i) B'3 H3)**: Presenta humedad relativa entre 65% y 84%, seco en otoño e invierno.

### **5.1.3 Análisis meteorológico**

Los principales parámetros meteorológicos que definen o caracterizan el clima en la zona de estudio son: la precipitación, la temperatura, la humedad relativa, la evaporación, y el viento; siendo estas las de mayor importancia en cuanto a la tipificación o caracterización meteorológica de la zona de estudio.

La evaluación meteorológica tuvo como finalidad identificar, describir y evaluar los elementos meteorológicos, para lo cual se ha recurrido a los registros históricos de las estaciones meteorológicas cercanas y aledañas a la zona de estudio, las cuales tienen como fuente el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Para el análisis meteorológico, se han utilizado 24 estaciones. En el Tabla N° 3 se presentan dichas estaciones, ubicación y fuente.

Tabla N° 3. Estaciones meteorológicas empleadas

Estación	Ubicación geográfica			Ubicación política			Fuente
	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Departamento	Provincia	Distrito	
Huayao	12°02'	75°16'	3315	Junín	Huancayo	Sicaya	Senamhi
Ingenio	11°52'	75°15'	3450	Junín	Huancayo	Ingenio	Senamhi
Santa Ana	12°00'	75°13'	3295	Junín	Huancayo	El Tambo	Senamhi
Viques	12°09'	75°13'	3218	Junín	Huancayo	Viques	Senamhi
Huaytapallana	12°01'	75°02'	4400	Junín	Huancayo	Pariahuanca	ANA
Laive	12°15'	76°21'	3990	Junín	Chupaca	Janacancha	ANA
Jauja	11°47'	75°28'	3322	Junín	Jauja	Jauja	ANA
Palaco	12°20'	76°17'	3650	Junín	Huancayo	Palaco	ANA
Churcampa	74°23'	12°44'	2780	Huancavelica	Churcampa	Churcampa	Senamhi
Huanta	74°14'	12°56'	2660	Ayacucho	Huanta	Huanta	Senamhi
Huapa	74°43'	13°00'	3600	Huancavelica	Angaraes	Lircay	Senamhi
Huarpa	-	-	2150	-	-	-	Senamhi

Estación	Ubicación geográfica			Ubicación política				Fuente
	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Departamento	Provincia	Distrito		
Santa Rosa	74°24'	12°38'	3800	Huancavelica	Churcampa	Pedro de Coris		Senamhi
Villena	74°41'	12°31'	2550	Huancavelica	Churcampa	Anco		Senamhi
Junín	75°59'	11°08'	4120	Junín	Junín	Junín		Senamhi
Marcapomacocha	76°19'	11°24'	4479	Junín	Yauli	Marcapomacocha		Senamhi
Pachacayo	75°43'	11°49'	3550	Junín	Jauja	Canchaylo		Senamhi
Yantac	76°24'	11°20'	4600	Junín	Yauli	Marcapomacocha		Senamhi
Upamayo	76°17'	10°55'	4080	Junín	Junín	Carhuamayo		Senamhi
Choclococha	75°04'	13°09'	4350	Huancavelica	Castrovirreyna	Santa Ana		Senamhi
Los Libertadores	74°55'	13°24'	3700	Huancavelica	Huaytara	Pilpichaca		Senamhi
Huancavelica	75°00'	12°46'	3770	Huancavelica	Huancavelica	Huancavelica		Senamhi
Acobamba	74°34'	12°50'	3236	Huancavelica	Acobamba	Acobamba		Senamhi

Fuente: Elaboración propia

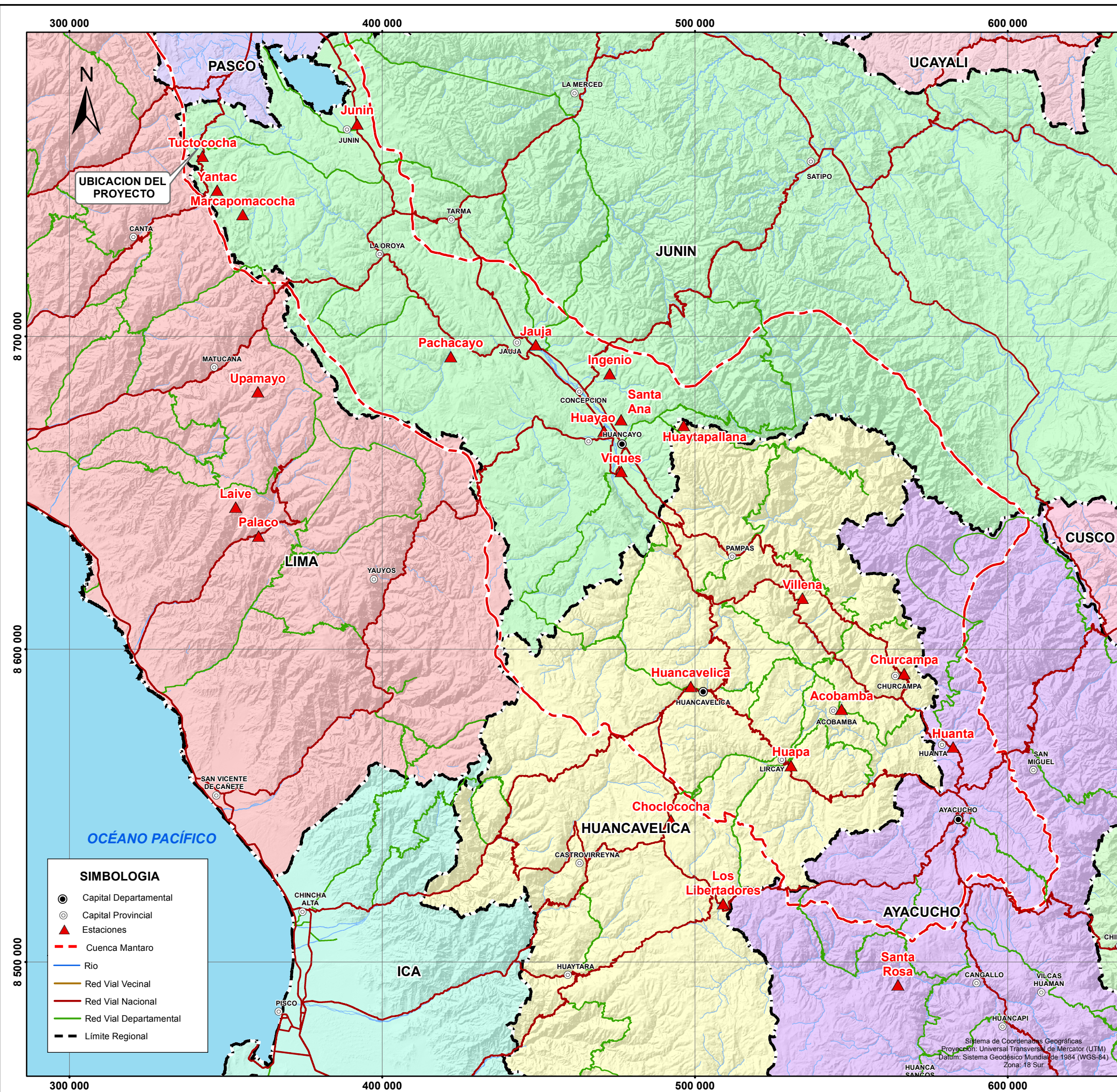
De la ubicación política de estudio:

Región : Junín

Provincia : Yauli

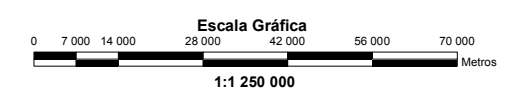
Distrito : Santa Bárbara de Carhuacayán

Se deduce que el área de interés se encuentra ubicada dentro la delimitación de la cuenca del río Mantaro y que las estaciones meteorológicas recopiladas están distribuidas en esta área, tal como se muestra en la Lámina N° 06.



**ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y PLUVIOMÉTRICAS**

ESTACIÓN	WGS 84 ZONA 18 S		ALTITUD (m.s.n.m.)	FUENTE
	ESTE (m)	NORTE (m)		
Huayao	470 974	8 669 746	3 315	SENAMHI
Ingenio	472 772	8 688 178	3 450	SENAMHI
Santa Ana	476 414	8 673 437	3 295	SENAMHI
Viques	476 427	8 656 850	3 218	SENAMHI
Huaytapallana	496 372	8 671 603	4 400	ANA
Laive	353 165	8 645 435	3 990	ANA
Jauja	449 158	8 697 362	3 322	ANA
Palaco	360 461	8 636 253	3 650	ANA
Churcampa	566 944	8 592 274	2 780	SENAMHI
Huanta	582 526	8 568 732	2 660	SENAMHI
Huapa	530 725	8 562 847	3 600	SENAMHI
Santa Rosa	564 897	8 492 745	3 800	SENAMHI
Villena	534 405	8 616 293	2 550	SENAMHI
Junin	392 027	8 768 017	4 120	SENAMHI
Marcapomacocha	355 438	8 738 970	4 479	SENAMHI
Pachacayo	421 930	8 693 619	3 550	SENAMHI
Yantac	347 219	8 746 796	4 600	SENAMHI
Upamayo	360 244	8 682 338	4 080	SENAMHI
Choclococha	492 324	8 545 354	4 350	SENAMHI
Los Libertadores	509 022	8 518 628	3 700	SENAMHI
Huancavelica	498 673	8 588 145	3 770	SENAMHI
Acobamba	546 901	8 580 795	3 236	SENAMHI



- SIMBOLOGIA**
- Capital Departamental
  - Capital Provincial
  - ▲ Estaciones
  - - - Cuenca Mantaro
  - Río
  - Red Vial Vecinal
  - Red Vial Nacional
  - Red Vial Departamental
  - - - Límite Regional


**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO:  
**MAPA DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File	LAMINA N° 06
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:1 250 000	N° Plano	Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 06	M.D.L.T.

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI  
 -Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.  
 -Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).



Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM)  
 Datum: Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84)  
 Zona: 18 Sur

#### 5.1.4 Precipitación

Con el objetivo de definir el valor de precipitación en el área de estudio, se ha tomado los registros de las estaciones existentes en la cuenca del río Mantaro.

Mediante una regresión de datos de precipitación total anual y generando una relación entre la precipitación-altitud se obtuvo una aproximación de la precipitación en la zona de estudio.

En el Tabla N° 4 se muestra las estaciones utilizadas para el cálculo de la precipitación en la zona de estudio.

Tabla N° 4. **Precipitación anual histórica**

<b>N°</b>	<b>Estaciones</b>	<b>Altitud</b>	<b>Precipitación Total (mm)</b>
1	Huayao	3315	746,83
2	Huaytapallana	4400	836,54
3	Ingenio	3450	760,17
4	Santa Ana	3295	679,89
5	Viques	3218	712,69
6	Laive	3990	924,15

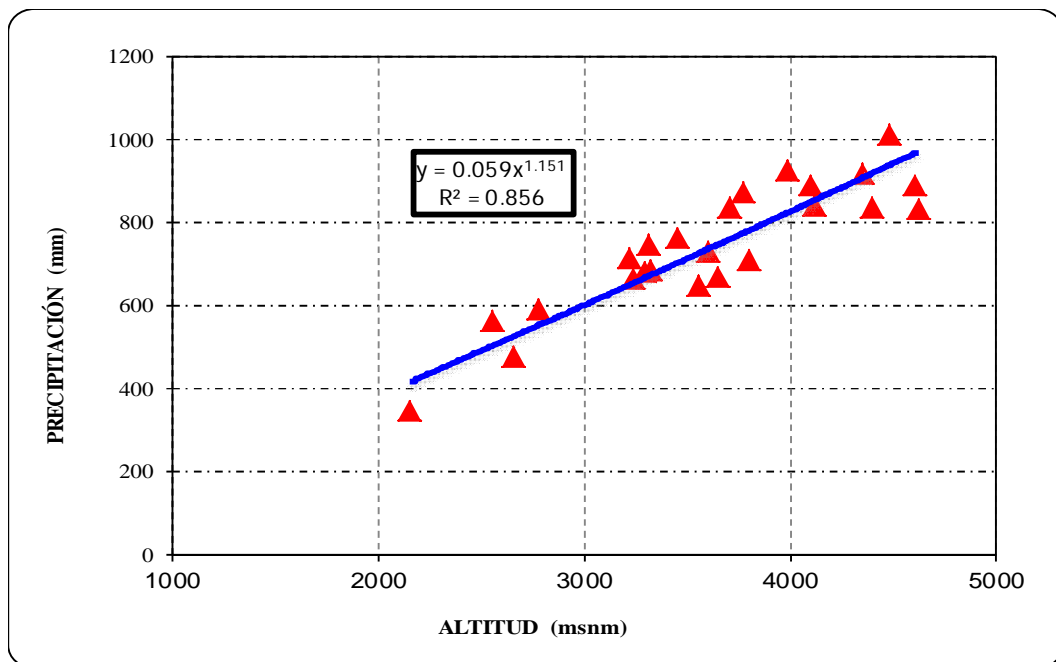
<b>N°</b>	<b>Estaciones</b>	<b>Altitud</b>	<b>Precipitación Total (mm)</b>
7	Jauja	3322	682,39
8	Palaco	3650	669,21
9	Churcampa	2780	589,11
10	Huanta	2660	475,35
11	Huapa	3600	727,32
12	Huarpa	2150	345,84
13	Santa rosa	3800	707,56
14	Villena	2550	562,05
15	Junin	4120	838,94
16	Marcapomacocha	4479	1010,86
17	Pachacayo	3550	645,85
18	Yantac	4600	887,26
19	Upamayo	4093	889,50
20	Choclococha	4350	916,08
21	Los Libertadores	3700	834,10
22	Huancavelica	3770	870,47
23	Acobamba	3236	665,60
24	Tuctococha	4619	829,3

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.4.1 Variación de la precipitación en el área de estudio

Con la finalidad de conocer el comportamiento espacial de la precipitación, se han correlacionado los valores de altitud con la precipitación media multianual de las estaciones (Ver Figura N° 5).

**Figura N° 5. Relación entre la precipitación media anual y altitud**



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar de la Figura N° 5, se obtiene una correlación superior a 0,8. Por tanto puede afirmarse que se tiene una

correlación aceptable, caracterizada por el aumento de la precipitación en una relación directamente proporcional al incremento de la altitud.

Para determinar la precipitación en los puntos de interés (microcuenca 1, microcuenca 2 y zona de embalse), se ha reemplazado en la ecuación, la altitud media de cada punto de interés, obteniéndose:

**Microcuenca 1:**

Altitud media: 4 700 msnm, obtiene una precipitación total anual igual a **988,9 mm**

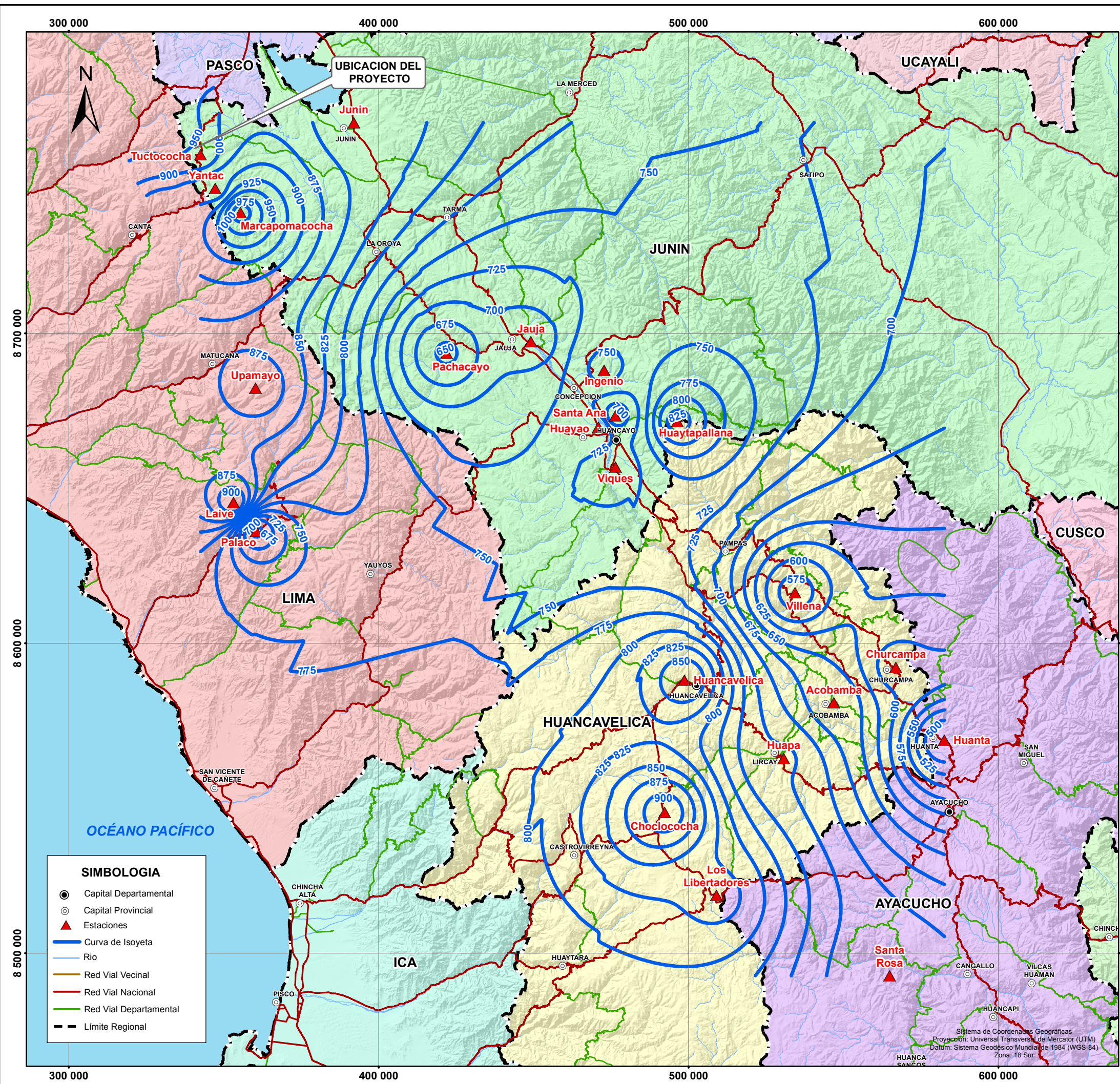
**Microcuenca 2:**

Altitud media: 4 740msnm, obtiene una precipitación total anual igual a **998,3 mm**

**Embalse:**

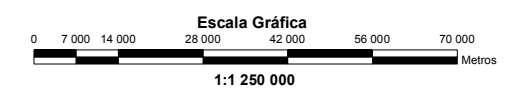
Altitud media: 4 600msnm, obtiene una precipitación total anual igual a **965,6 mm**

En la Lámina N° 7, se presentan las isoyetas con los valores de precipitación para la zona de estudio.



**ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y PLUVIOMÉTRICAS**

ESTACIÓN	WGS 84 ZONA 18 S		ALTITUD (m.s.n.m.)	FUENTE
	ESTE (m)	NORTE (m)		
Huayao	470 974	8 669 746	3 315	SENAMHI
Ingenio	472 772	8 688 178	3 450	SENAMHI
Santa Ana	476 414	8 673 437	3 295	SENAMHI
Viques	476 427	8 656 850	3 218	SENAMHI
Huaytapallana	496 372	8 671 603	4 400	ANA
Laive	353 165	8 645 435	3 990	ANA
Jauja	449 158	8 697 362	3 322	ANA
Palaco	360 461	8 636 253	3 650	ANA
Churcampa	566 944	8 592 274	2 780	SENAMHI
Huanta	582 526	8 568 732	2 660	SENAMHI
Huapa	530 725	8 562 847	3 600	SENAMHI
Santa Rosa	564 897	8 492 745	3 800	SENAMHI
Villena	534 405	8 616 293	2 550	SENAMHI
Junin	392 027	8 768 017	4 120	SENAMHI
Marcapomacocha	355 438	8 738 970	4 479	SENAMHI
Pachacayo	421 930	8 693 619	3 550	SENAMHI
Yantac	347 219	8 746 796	4 600	SENAMHI
Upamayo	360 244	8 682 338	4 080	SENAMHI
Choclococha	492 324	8 545 354	4 350	SENAMHI
Los Libertadores	509 022	8 518 628	3 700	SENAMHI
Huancavelica	498 673	8 588 145	3 770	SENAMHI
Acobamba	546 901	8 580 795	3 236	SENAMHI



- SIMBOLOGIA**
- Capital Departamental
  - Capital Provincial
  - ▲ Estaciones
  - Curva de Isoyeta
  - Rio
  - Red Vial Vecinal
  - Red Vial Nacional
  - Red Vial Departamental
  - Límite Regional

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO:  
**MAPA DE CURVA DE ISOYETAS**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File	LAMINA N° 07
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:1 250 000	N° Plano	Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 07	M.D.L.T.

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI  
 -Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.  
 -Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI.

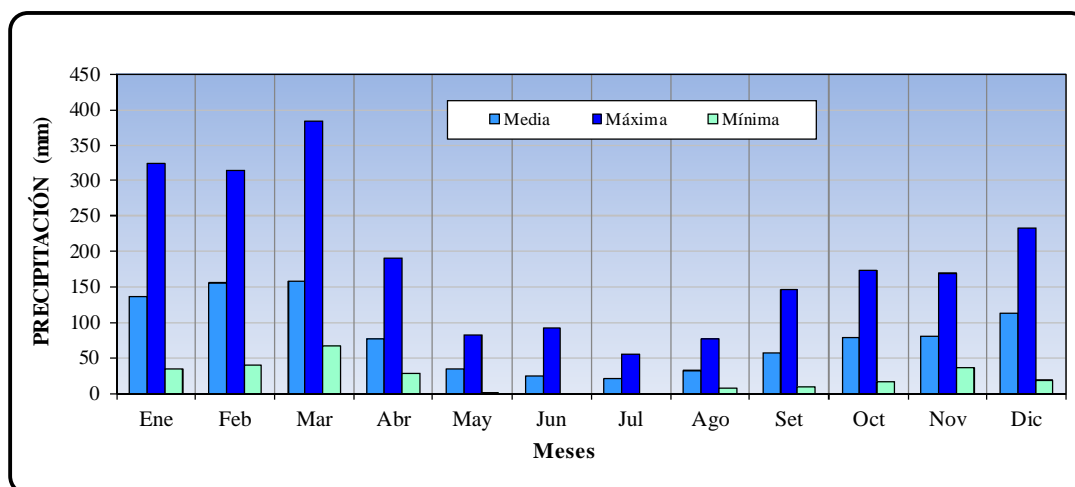


#### 5.1.4.2 Precipitación en el área del embalse

A nivel local, la estación meteorológica que se muestra como representativa para la zona donde está ubicado el depósito de relaves, es la estación Yantac, Esta estación servirá como apoyo para los cálculos de las series de precipitación en el área de estudio. En el Anexo I, se presenta las series de precipitación total y distribución a nivel mensual de dicha estación.

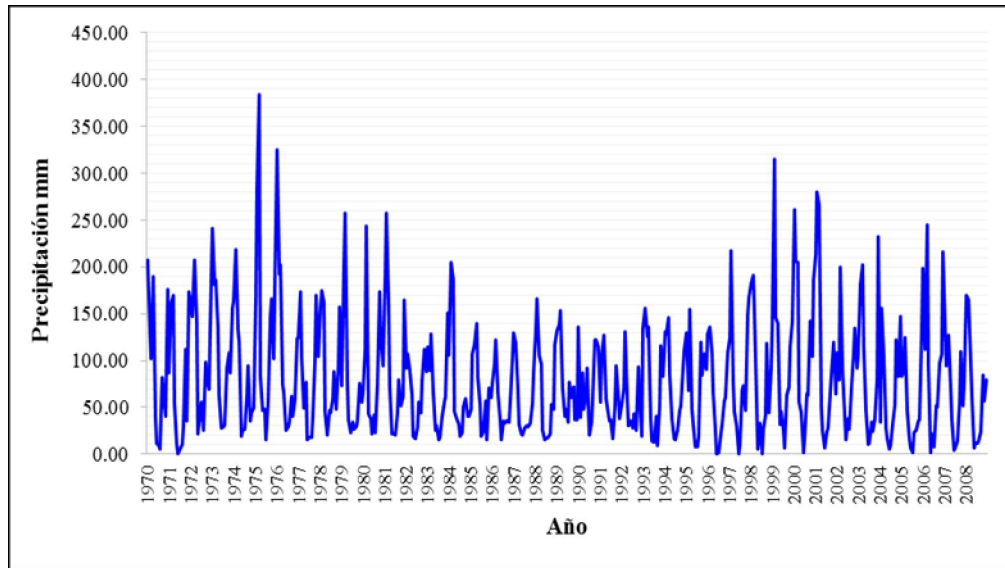
En la figura N°6, se muestra la distribución mensual de la precipitación, y en la figura N°7, el histograma de precipitación en base a la estación Yantac.

**Figura N° 6. Distribución mensual de la precipitación (mm)**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 7. Histograma de precipitación en el área de estudio**



Fuente: Elaboración Propia

#### **5.1.4.3 Precipitación para año seco, húmedo y promedio**

Las precipitaciones en la zona de interés presentan fluctuaciones en el tiempo, presentándose periodos húmedos, promedio y secos. Un primer análisis es efectuar el cálculo del índice de precipitación estandarizada (SPI) en la zona de estudio, con la siguiente expresión.

$$SPI = \left( \frac{P - P_m}{\sigma} \right)$$

Donde:

SPI = Índice de precipitación estandarizada

Pm = Precipitación Total Mensual (mm)

$\sigma$  = Desviación estándar de la precipitación

Luego del análisis se ha considerado un año “seco” aquel que represente un índice menor o igual a -1; para un año “húmedo” con un índice mayor o igual a 1, y año “promedio” entre los índices de -1 a 1. El análisis de la precipitación - Años Tipo se muestra en el Tabla N°5 y Figura N° 8.

**Tabla N° 5. Precipitación años seco, húmedo y promedio**

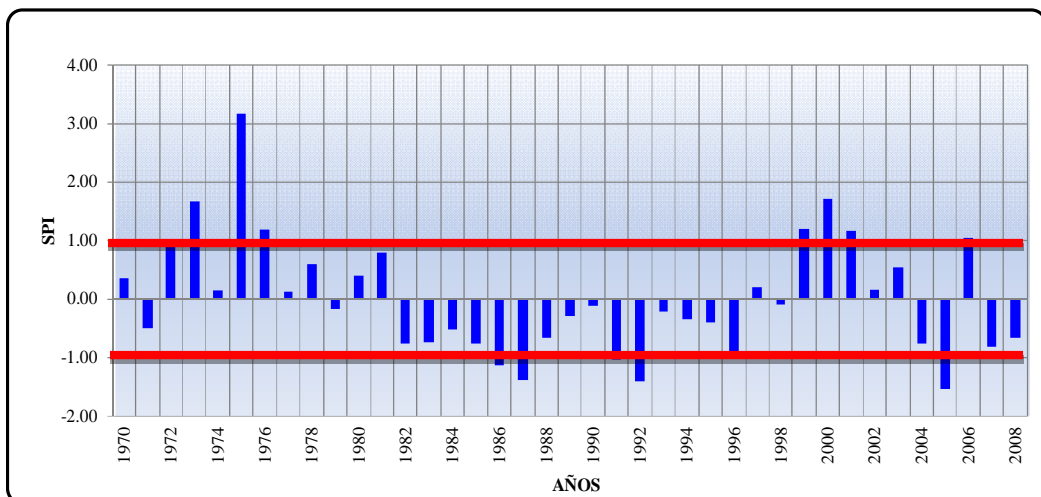
<b>Año</b>	<b>Total</b>	<b>Año tipo</b>
<b>1970</b>	1 047,3	Medio
<b>1971</b>	849,4	Medio
<b>1972</b>	1 177,7	Medio
<b>1973</b>	1 341,4	Húmedo
<b>1974</b>	995,5	Medio
<b>1975</b>	1 681,5	Húmedo
<b>1976</b>	1 231,2	Húmedo
<b>1977</b>	995,0	Medio
<b>1978</b>	1 100,2	Medio
<b>1979</b>	927,9	Medio
<b>1980</b>	1 056,7	Medio
<b>1981</b>	1 143,0	Medio
<b>1982</b>	793,8	Medio
<b>1983</b>	797,4	Medio

<b>Año</b>	<b>Total</b>	<b>Año tipo</b>
<b>1984</b>	846,9	Medio
<b>1985</b>	794,6	Medio
<b>1986</b>	707,5	Seco
<b>1987</b>	651,6	Seco
<b>1988</b>	816,9	Medio
<b>1989</b>	901,1	Medio
<b>1990</b>	940,6	Medio
<b>1991</b>	730,6	Seco
<b>1992</b>	649,5	Seco
<b>1993</b>	915,7	Medio
<b>1994</b>	888,5	Medio
<b>1995</b>	871,6	Medio
<b>1996</b>	744,4	Medio
<b>1997</b>	1 008,5	Medio
<b>1998</b>	942,6	Medio
<b>1999</b>	1 237,6	Húmedo
<b>2000</b>	1 351,4	Húmedo
<b>2001</b>	1 227,3	Húmedo
<b>2002</b>	1 002,5	Medio
<b>2003</b>	1 086,2	Medio
<b>2004</b>	791,7	Medio
<b>2005</b>	618,1	Seco
<b>2006</b>	1 201,3	Húmedo
<b>2007</b>	780,6	Medio
<b>2008</b>	814,6	Medio

Fuente: Elaboración Propia

Según el análisis, el año 2005 fue un año seco; el año 1975 un año húmedo, y un año promedio el 2002. Este análisis constituye la base para el balance hídrico en el depósito de relaves, en la Figura N° 8 se muestra los registros para los años tipos para realizar el balance hídrico.

**Figura N° 8. Análisis precipitación años secos, húmedos y promedio**



Fuente: Elaboración Propia

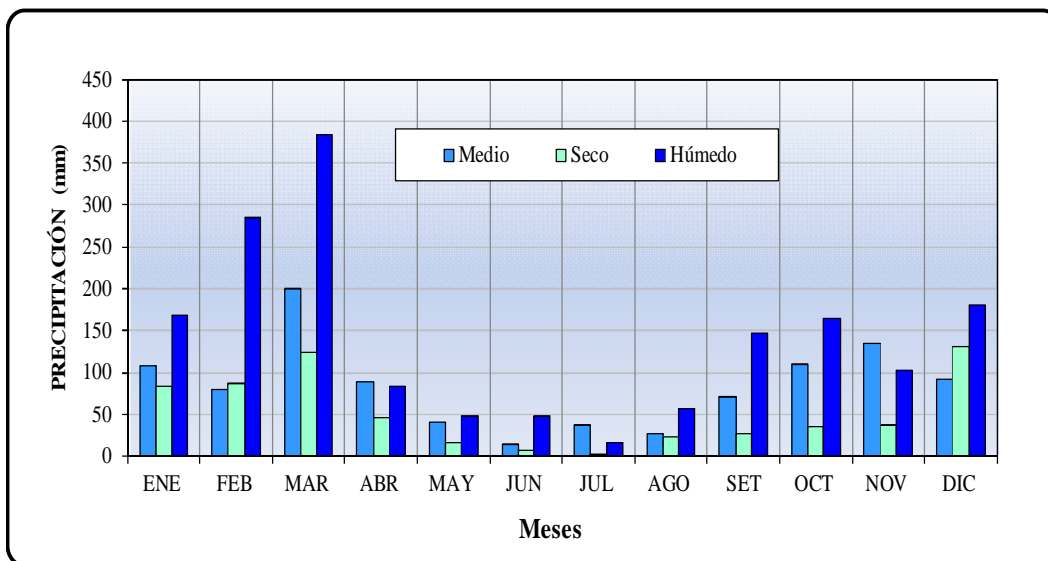
En base a los años seleccionados (seco, húmedo y promedio), se presenta el Tabla N° 6, con los datos de precipitación para tales años.

Tabla N° 6. Precipitación (mm) años seco, húmedo y promedio

Tipo	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
<b>Húmedo</b>	<b>1975</b>	167,3	284,7	384,4	82,8	471	47,7	16,1	57,3	146,2	165,3	102,3	180,3	1681,5
<b>Medio</b>	<b>2002</b>	108,5	79,4	199,5	88,9	41,0	14,9	37,8	26,2	71,0	109,3	134,6	91,4	1002,5
<b>Seco</b>	<b>2005</b>	82,6	87,6	124,1	46,4	16,0	6,6	2,2	22,5	26,1	36,0	36,4	131,6	618,1

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 9. Precipitación por año seco, húmedo y promedio**



Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.5 Temperatura

Este parámetro, ha sido evaluado con la información registrada en la estación Animón (altitud 4620 msnm) que dispone de registros del periodo 2002 al 2006, y se encuentra próxima a la zona del estudio.

En el Tabla N° 7, se muestra la temperatura media mensual de la estación Animón.

Tabla N° 7. Temperatura media mensual (°C) – estación Animón

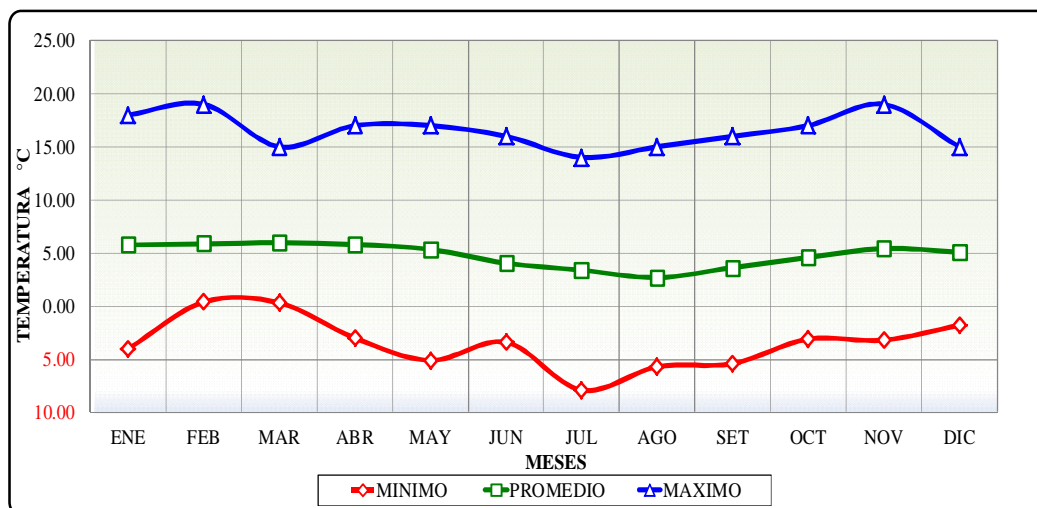
Año	Altitud (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
Promedio	4620	5,77	5,87	5,97	5,81	5,34	4,05	3,38	2,70	3,62	4,58	5,44	5,09	4,80
Mínimo	4620	-4,00	0,40	0,30	-3,00	-5,10	-3,40	-7,90	-5,70	-5,40	-3,10	-3,20	-1,80	-3,49
Máximo	4620	18,0	19,0	15,0	17,0	17,0	16,0	14,0	15,0	16,0	17,0	19,0	15,0	16,50

Fuente: Elaboración Propia

Según los registros de dicha estación, la temperatura media multianual es de 4,80°C; las temperaturas mínimas mensuales pueden llegar a -7,90°C y las temperaturas máximas mensuales alcanzan los 19,00°C.

Las temperaturas mínimas extremas normalmente ocurren en el período de los meses de mayo a setiembre, alcanzando valores hasta -7,9°C. En la Figura N° 10 se muestra la variación mensual de la temperatura promedio, así como la variación máxima y mínima.

**Figura N° 10. Temperatura media mensual (°C)**

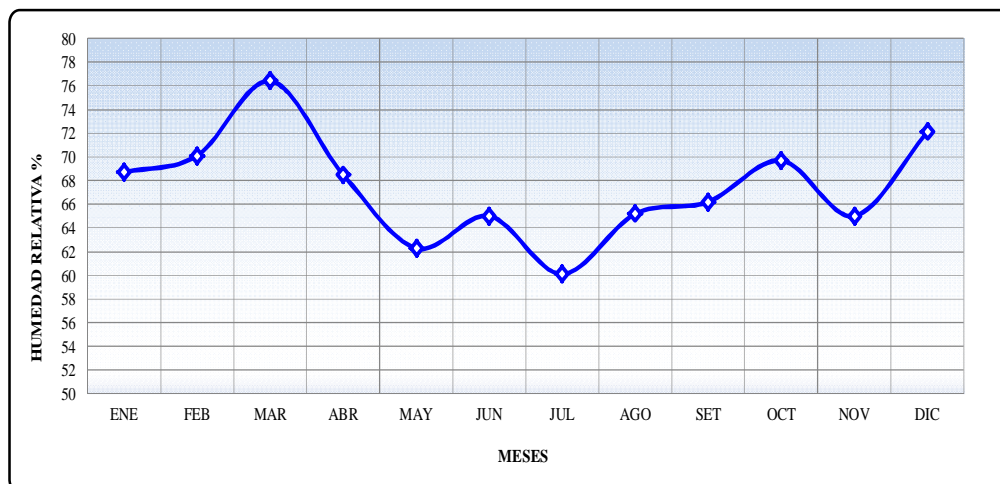


Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.6 Humedad relativa

La humedad relativa promedio en la zona de estudio, de acuerdo a datos de la estación Animón, está en el rango de 60% a 73%. Los valores máximos extremos se presentan entre los meses de marzo y abril, alcanzando valores hasta de 83%. Mientras que los valores mínimos se presentan entre los meses de julio a septiembre, alcanzando valores de hasta 60%. En el gráfico siguiente, se muestra la variación de la humedad relativa disponible para la estación Animón, período 2002-2006.

**Figura N° 11. Humedad relativa (%) – estación Animón**

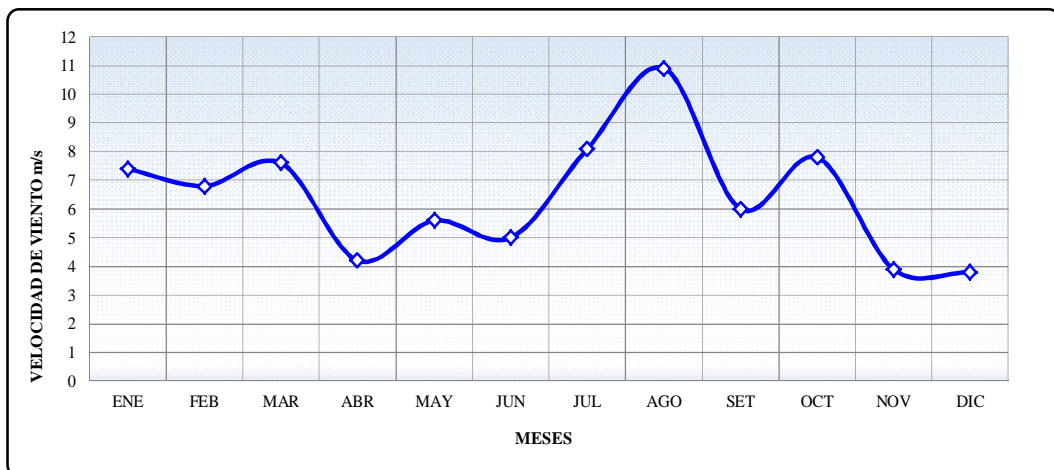


Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.7 Velocidad del viento

La estación Animón ubicada próxima a la zona del estudio, registra la velocidad y dirección del viento. Para la zona del proyecto se tiene como velocidad media del viento 6,43 m/s, estando el rango de fluctuación entre 4 y 11 m/s.

**Figura N° 12. Velocidad del viento– estación Animón**



Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.8 Evaporación

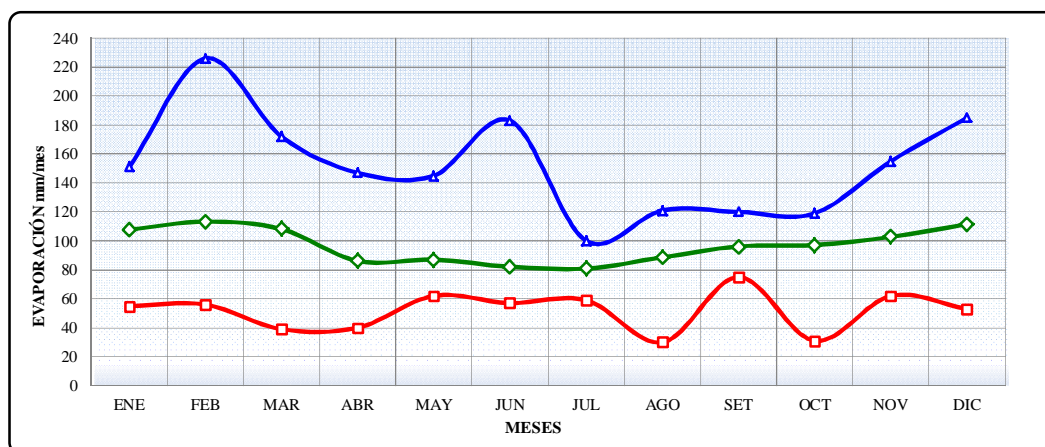
En la zona de estudio no se cuenta con información correspondiente a evaporación, motivo por el cual se emplea la estación de Upamayo, para extrapolar la información (Ver Tabla N° 8).

**Tabla N° 8. Valores de evaporación (mm) estación Upamayo**

Estación	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Upamayo	Promedio	107,7	113,3	108,1	86,1	87,0	82,1	80,9	88,6	96,1	97,1	102,7	111,5	1161,2
	Mínimo	55,0	56,0	39,0	40,0	62,0	57,0	59,0	30,0	75,0	31,0	62,0	53,0	619,0
	Máximo	151,0	226,0	172,0	147,0	145,0	183,0	100,0	121,0	120,0	119,0	155,0	185,0	1824,0

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 13. Evaporación(mm) estación Upamayo**



Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.9 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>), es un elemento importante dentro del balance hídrico, debido a que es el principal parámetro responsable del déficit hidrológico. Se ha determinado mediante el método de Thornthwaite, en base a una serie de datos de la temperatura mensual generada, además de la latitud de la zona del proyecto; cuyo resultado de la ET<sub>o</sub>, está en mm/mes, como se muestra en el Tabla N° 9.

**Tabla N° 9. Evapotranspiración potencial en la zona de estudio**

Índice térmico anual (I) = 11.5104  
Exponente (a) = 0.68947

Mes	Temperatura	Índice	ET <sub>o</sub>	Factor f	ET <sub>r</sub> mensual	ET <sub>r</sub> diaria (mm)
Ene	5.77	1.242	48.619	0.98	47.647	1.54
Feb	5.87	1.275	49.199	0.91	44.771	1.6
Mar	5.97	1.308	49.775	1.03	51.268	1.65
Abr	5.81	1.255	48.851	1.03	50.317	1.68
May	5.34	1.105	46.091	1.08	49.779	1.61
Jun	4.05	0.727	38.091	1.06	40.376	1.35
Jul	3.38	0.553	33.626	1.08	36.316	1.17
Ago	2.7	0.393	28.801	1.07	30.817	0.99
Set	3.62	0.613	35.254	1.02	35.959	1.2
Oct	4.58	0.876	41.462	1.02	42.291	1.36
Nov	5.44	1.136	46.685	0.98	45.751	1.53
Dic	5.09	1.027	44.592	0.99	44.146	1.42

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.10 Balance climático

El balance hídrico climático fue desarrollado por Thornthwaite (1948) y revisado por Thornthwaite y Mather (1955). Es un método útil para determinar la escorrentía total o los excedentes, conformado por la escorrentía superficial y la recarga.

El balance trata la zona no saturada como una zona reservorio, la cual es llenada por infiltración y vaciada por evapotranspiración. Es un balance mensual, por lo que es una representación promedia y

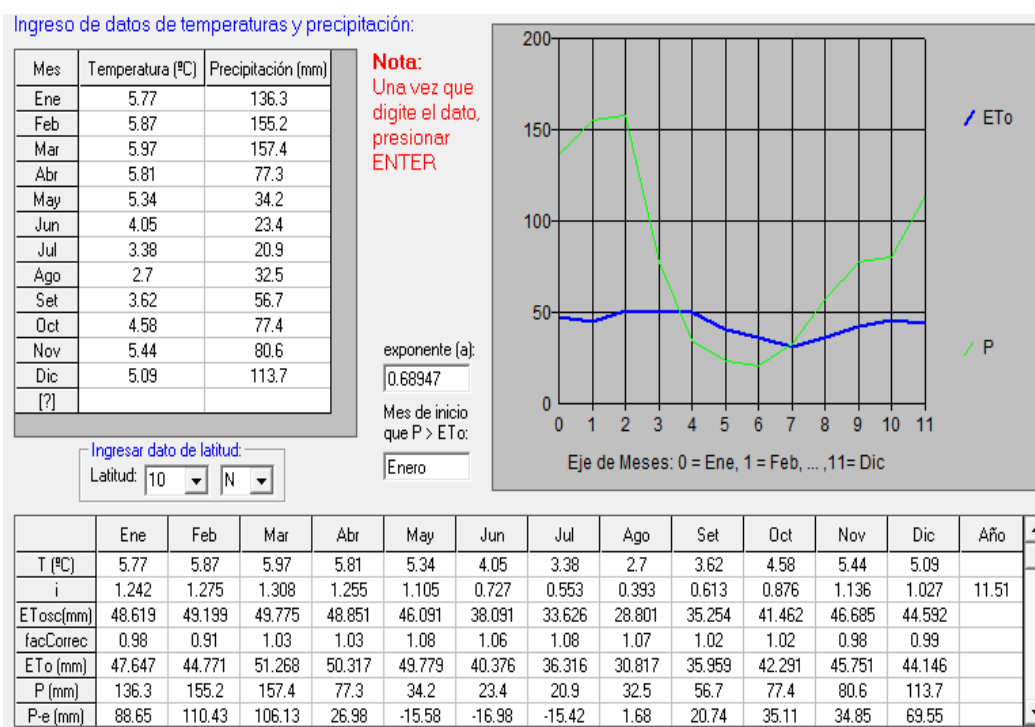
simplificada del balance hídrico climático real. Sin embargo, comparaciones entre la escorrentía total anual calculada y las mediciones anuales de flujo en las corrientes muestran correlaciones de 90% o mejores.

A continuación se presenta las variables que intervienen en el balance hídrico.

- ✓ Temperatura( $^{\circ}\text{C}$ )= Temperatura media mensual;
- ✓ Precipitación (P) = Precipitación media mensual; notar que la precipitación como nieve se representa como su equivalente en lluvia.

Del balance climático general en la zona de embalse, se aprecia sequía en los meses de invierno y avenidas en los meses de verano, como se muestra en la Figura N° 14.

**Figura N° 14. Balance hídrico-climático**



Fuente: Elaboración Propia

### **5.1.11 Generación de caudales en microcuencas aportantes**

La importancia de la aplicación de modelos matemáticos de generación de caudales medios mensuales, se basa en la interpretación del ciclo hidrológico que implica el conocimiento de sus componentes básicos, tales como evapotranspiración, infiltración, escurrimiento subterráneo, déficit de escurrimiento, agotamiento de la cuenca, etc.

Para el cálculo de las descargas medias mensuales, se ha utilizado el modelo Lutz Shoolz, propuesto por la Misión Técnica Alemana en 1980 para el Ex-Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones. Este modelo combina el balance hidrológico a través de un proceso Markoviano de 1er orden, utilizando la precipitación total mensual y las características físicas de la microcuencas.

A continuación se muestra los resultados de los caudales medio calculados por el modelo de Lutz.

Tabla N° 10. **Caudales (m<sup>3</sup>/s) modelo Lutz - microcuenca 1**

Mes	Prom	Q max	Q min
Ene	0,010	0,025	0,002
Feb	0,013	0,027	0,003
Mar	0,012	0,032	0,005
Abr	0,006	0,014	0,002
May	0,002	0,006	0,001
Jun	0,001	0,006	0,000
Jul	0,001	0,003	0,000
Ago	0,001	0,004	0,000
Sep	0,003	0,010	0,000
Oct	0,005	0,012	0,001
Nov	0,005	0,012	0,002
Dic	0,008	0,017	0,001
Prom	0,01	0,01	0,00

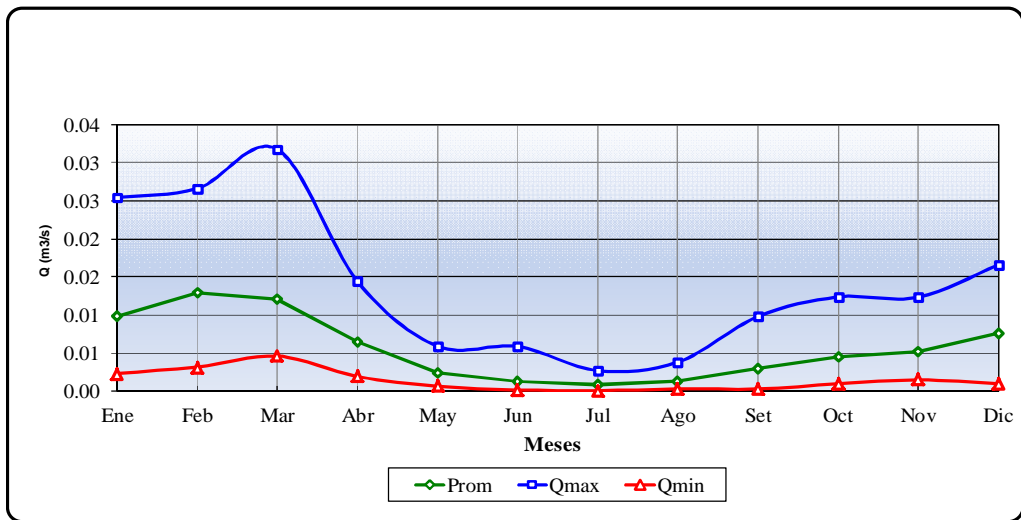
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 11. **Caudales (m3/s) modelo Lutz -microcuenca 2**

Mes	Prom	Q max	Q min
Ene	0,026	0,069	0,006
Feb	0,034	0,073	0,007
Mar	0,031	0,085	0,011
Abr	0,015	0,039	0,004
May	0,005	0,014	0,001
Jun	0,003	0,015	0,000
Jul	0,002	0,007	0,000
Ago	0,003	0,011	0,000
Sep	0,008	0,028	0,001
Oct	0,012	0,033	0,001
Nov	0,014	0,034	0,004
Dic	0,020	0,046	0,002
Prom	0,01	0,04	0,00

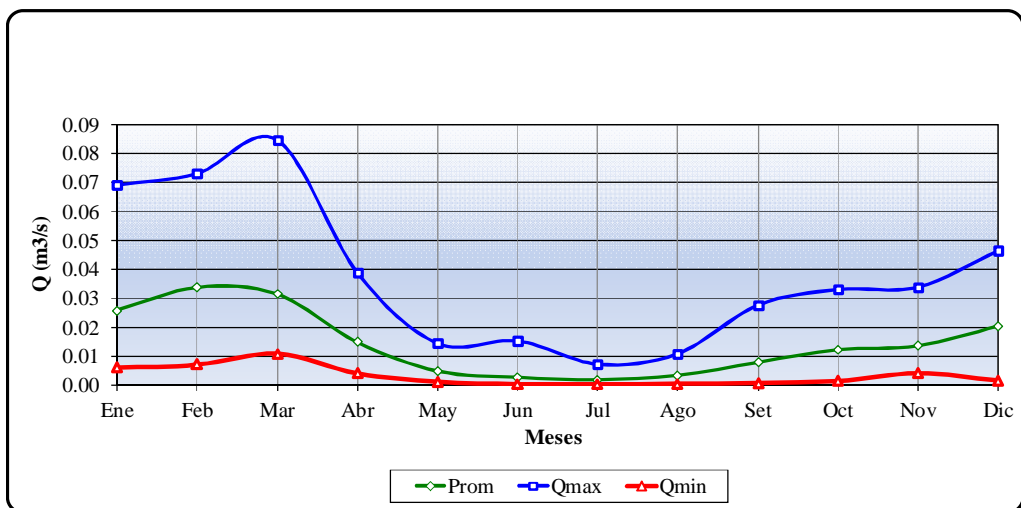
Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 15. Caudales generados en la microcuenca 1**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 16. Caudales generados en la microcuenca 2**



Fuente: Elaboración Propia

Obtenidos los caudales para ambas microcuencas, se obtiene el promedio de los meses de estiaje (abril, mayo, junio, julio y agosto). Por consiguiente, los caudales estimados para las microcuencas 1 y 2, se presentan en el Tabla N° 12.

Tabla N° 12. **Caudales generados para las microcuencas 1 y 2**

<b>Caudal</b>	<b>Microcuenca 1</b>	<b>Microcuenca 2</b>
<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	0,0022	0,0056
<b>(l/s)</b>	2,2	5,6

Fuente: Elaboración Propia

#### **5.1.12 Balance hídrico en el depósito de relaves Alpamarca**

Para el desarrollo del balance hídrico, se ha considerado las siguientes variables:

- **Temperatura (°C)** = Temperatura media mensual.
- **Evapotranspiración potencial (ET<sub>osc</sub>)** = Cantidad de evapotranspiración que podría ocurrir asumiendo que se tiene un abastecimiento ilimitado de agua al suelo.

- **Precipitación (P)** = Precipitación media mensual; notar que la precipitación como nieve se representa como su equivalente en lluvia.
- **Almacenamiento** = Medida de la capacidad reservorio del suelo.
- **Cambio en almacenamiento** = Cambio mensual en el espesor del almacenamiento del reservorio.
- **Evapotranspiración real (ET<sub>r</sub>)** = Equivalente al menor valor de: evapotranspiración potencial, o precipitación más irrigación menos el cambio en almacenamiento.
- **Déficit (D)** = Evapotranspiración potencial – evapotranspiración actual.
- **Excedente (ExT)** = Cantidad de agua que excede los requerimientos de almacenamiento.

El cálculo del balance hídrico en el depósito de relaves, se ha desarrollado para los tres años tipo: año seco, año húmedo y año promedio, el cual se muestran a continuación.

Tabla N° 13. Balance hídrico (mm) para año seco

Exponente (a) = 0.6894

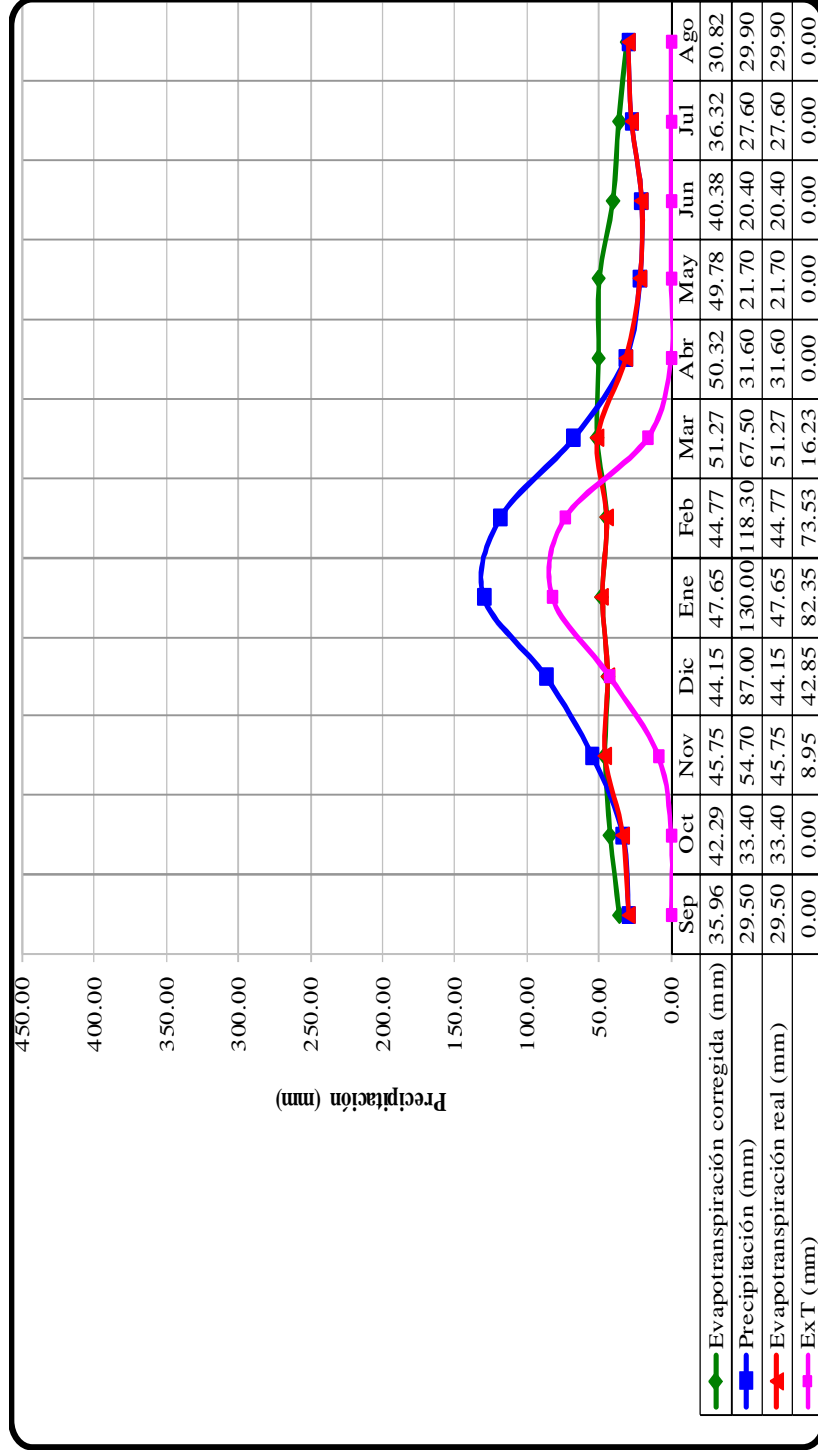
Índice de calor anual (I) = 11.51

Resultado del cálculo del balance hídrico, método de Thornthwaite:

Variable	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
Temperatura (°C)	3,62	4,58	5,44	5,09	5,77	5,87	5,97	5,81	5,34	4,05	3,38	2,70	4,80
Índice de calor	0,61	0,88	1,14	1,03	1,24	1,28	1,31	1,26	1,11	0,73	0,55	0,39	11,51
Evapotranspiración (mm)	35,25	41,46	46,69	44,59	48,62	49,20	49,78	48,85	46,09	38,09	33,63	28,80	511,05
Factor de corrección	1,02	1,02	0,98	0,99	0,98	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	
Evapotranspiración corregida (mm)	35,96	42,29	45,75	44,15	47,65	44,77	51,27	50,32	49,78	40,38	36,32	30,82	519,44
Precipitación (mm)	29,50	33,40	54,70	87,00	130,00	118,30	67,50	31,60	21,70	20,40	27,60	29,90	651,60
Excedente climático (mm)	20,74	35,11	34,85	69,55	88,65	110,43	106,13	26,98	-15,58	-16,98	-15,42	1,68	446,14
Evapotranspiración real (mm)	29,50	33,40	45,75	44,15	47,65	44,77	51,27	31,60	21,70	20,40	27,60	29,90	427,68
Déficit (mm)	6,46	8,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,72	28,08	19,98	8,72	0,92	91,76
Reserva (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ExT (mm)	0,00	0,00	8,95	42,85	82,35	73,53	16,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	223,92

Fuente: Elaboración propia  
 ExT(mm)= Excedente Climático Total  
 (Escorrentía+infiltración)

Figura N° 17. Balance hídrico(mm) añoseco



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 14. Balance hídrico (mm) para año húmedo**

Exponente (a) =0.6894

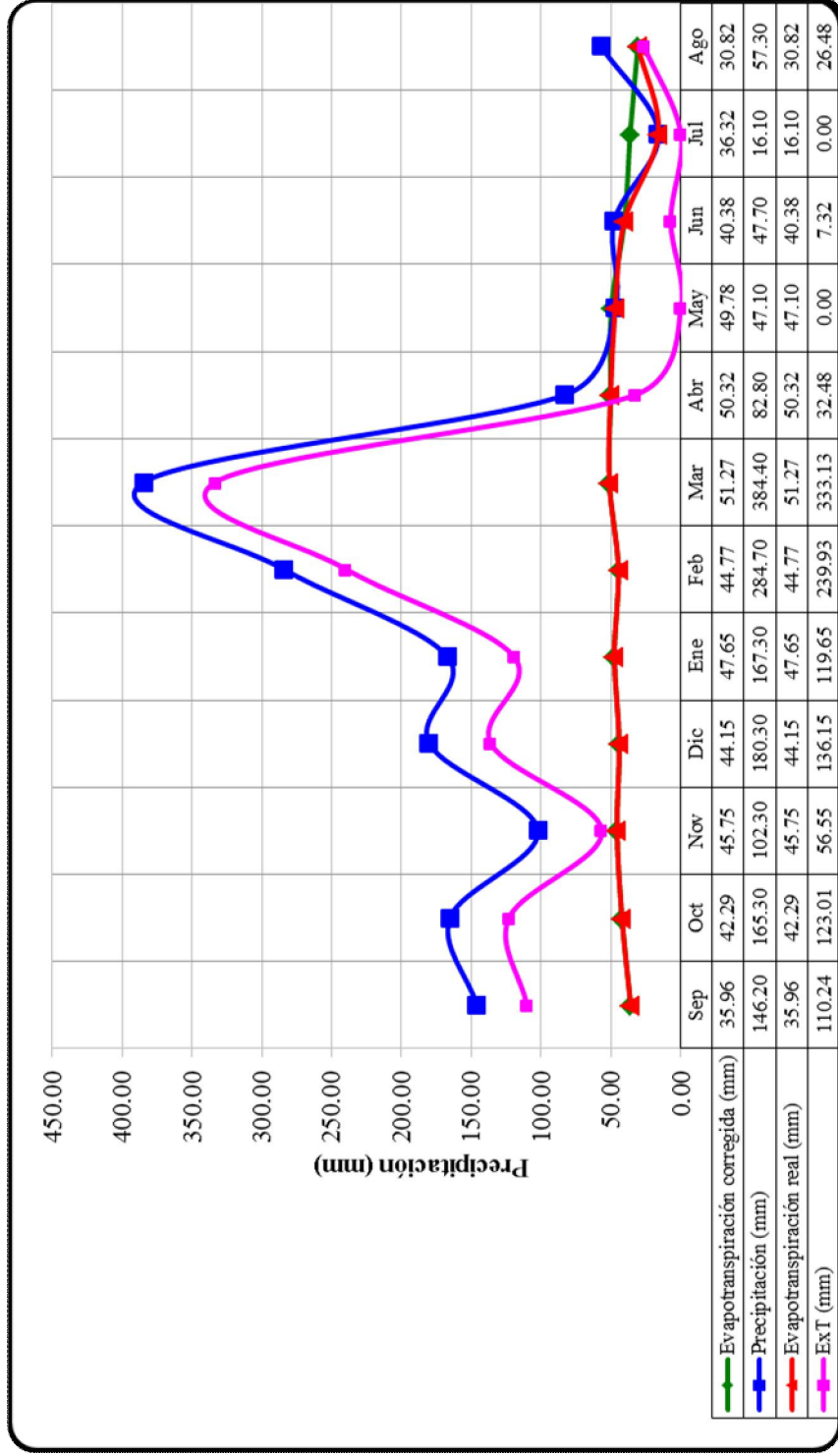
Índice de calor anual (I) = 11.51

Resultado del cálculo del balance hídrico, método de Thornthwaite:

Variable	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
Temperatura (°C)	3,62	4,58	5,44	5,09	5,77	5,87	5,97	5,81	5,34	4,05	3,38	2,70	4,80
Índice de calor	0,61	0,88	1,14	1,03	1,24	1,28	1,31	1,26	1,11	0,73	0,55	0,39	11,51
Evapotranspiración (mm)	35,25	41,46	46,69	44,59	48,62	49,20	49,78	48,85	46,09	38,09	33,63	28,80	511,05
Factor de corrección	1,02	1,02	0,98	0,99	0,98	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	
Evapotranspiración corregida (mm)	35,96	42,29	45,75	44,15	47,65	44,77	51,27	50,32	49,78	40,38	36,32	30,82	519,44
Precipitación (mm)	146,20	165,30	102,30	180,30	167,30	284,70	384,40	82,80	47,10	47,70	16,10	57,30	1681,50
Excedente climático (mm)	20,74	35,11	34,85	69,55	88,65	110,43	106,13	26,98	-15,58	-16,98	-15,42	1,68	446,14
Evapotranspiración real (mm)	35,96	42,29	45,75	44,15	47,65	44,77	51,27	50,32	47,10	40,38	16,10	30,82	496,54
Déficit (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68	0,00	20,22	0,00	22,90
Reserva (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ExT (mm)	110,24	123,01	56,55	136,15	119,65	239,93	333,13	32,48	0,00	7,32	0,00	26,48	1184,96

Fuente: Elaboración propia  
 ExT(mm)= Excedente Climático Total =  
 (Escorrentía+infiltración)

Figura N° 18. Balance hídrico (mm) año húmedo



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15. Balance hídrico (mm) para año promedio

Exponente (a) =0.6894

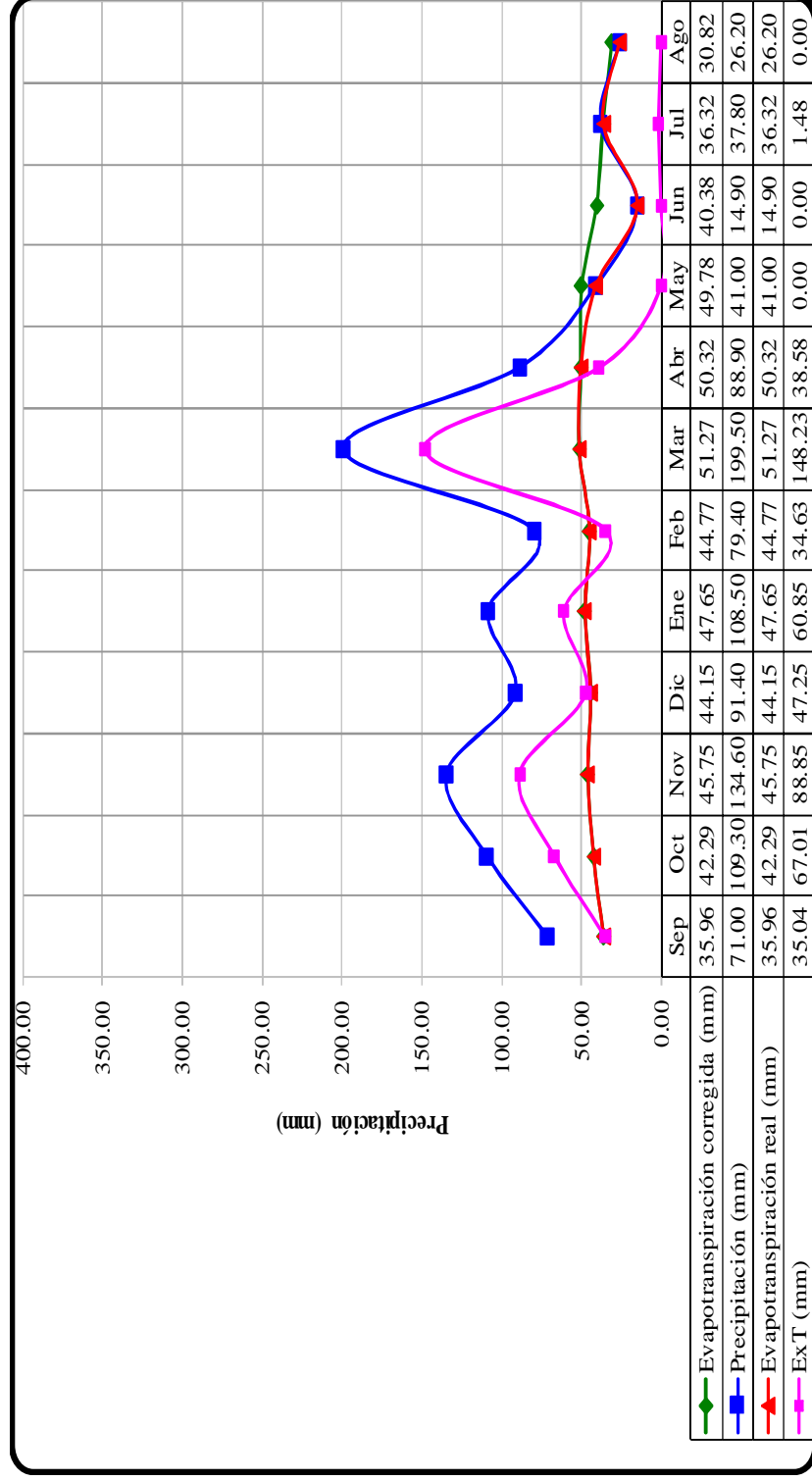
Índice de calor anual (I) = 11.51

Resultado del cálculo del balance hídrico, método de Thornthwaite:

Variable	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
Temperatura (°C)	3,62	4,58	5,44	5,09	5,77	5,87	5,97	5,81	5,34	4,05	3,38	2,70	4,80
Índice de calor	0,61	0,88	1,14	1,03	1,24	1,28	1,31	1,26	1,11	0,73	0,55	0,39	11,51
Evapotranspiración (mm)	35,25	41,46	46,69	44,59	48,62	49,20	49,78	48,85	46,09	38,09	33,63	28,80	511,05
Factor de corrección	1,02	1,02	0,98	0,99	0,98	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	
Evapotranspiración corregida (mm)	35,96	42,29	45,75	44,15	47,65	44,77	51,27	50,32	49,78	40,38	36,32	30,82	519,44
Precipitación (mm)	71,00	109,30	134,60	91,40	108,50	79,40	199,50	88,90	41,00	14,90	37,80	26,20	1002,50
Excedente climático (mm)	20,74	35,11	34,85	69,55	88,65	110,43	106,13	26,98	-15,58	-16,98	-15,42	1,68	446,14
Evapotranspiración real (mm)	35,96	42,29	45,75	44,15	47,65	44,77	51,27	50,32	41,00	14,90	36,32	26,20	480,57
Déficit (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,78	25,48	0,00	4,62	38,87
Reserva (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ExT (mm)	35,04	67,01	88,85	47,25	60,85	34,63	148,23	38,58	0,00	0,00	1,48	0,00	521,93

Fuente: Elaboración propia  
 ExT(mm)= Excedente Climático Total  
 (Escorrentía+infiltración)

Figura N° 19. Balance hídrico (mm) añopromedio



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la evaluación realizada del balance hídrico para los años seco, húmedo y promedio, se estima que existe un excedente climático (escorrentía + infiltración) correspondiente para:

Año seco : 223,92 mm  
 Año húmedo : 1184,96 mm  
 Año promedio : 521,93 mm

Considerando, que el área del vaso del depósito de relaves es aproximadamente 25,09 ha; se tiene el cálculo en millones de metros cúbicos para cada año tipo, tal como se muestra en el Tabla N° 16.

**Tabla N° 16. Balance hídrico (mm) para año promedio**

<b>Excedente Año seco (mm)</b>	<b>Excedente Año húmedo (mm)</b>	<b>Excedente Año promedio (mm)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Excedente Año seco (MMC)</b>	<b>Excedente Año húmedo (MMC)</b>	<b>Excedente Año promedio (MMC)</b>
223,92	1184,96	521,93	25,09	0,056	0,297	0,131

Fuente: Elaboración Propia

Considerando las condiciones topográficas y geomorfológicas de la zona de estudio, se estima que la infiltración es del orden del 15%. En base a los resultados presentados en el Cuadro N° 16, se ha calculado

los caudales de infiltración para cada año tipo, los cuales se presentan en el Tabla N° 17.

**Tabla N° 17. Infiltración para cada año tipo**

<b>Infiltración Año seco (l/seg)</b>	<b>Infiltración Año húmedo (l/seg)</b>	<b>Infiltración Año promedio (l/seg)</b>
0,27	1,41	0,62

Fuente: Elaboración Propia

Considerando los caudales calculados para las microcuencas 1 y 2, en el Tabla N° 18, se presenta la infiltración total para cada año tipo.

**Tabla N° 18. Infiltración total para cada año tipo**

<b>Caudal Microcuenca 1</b>	<b>Caudal Microcuenca 2</b>	<b>Infiltración Año seco (l/seg)</b>	<b>Infiltración Año húmedo (l/seg)</b>	<b>Infiltración Año promedio (l/seg)</b>
2,2	5,6	8,07	9,21	8,42

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPITULO VI: PROGRAMA DE INVESTIGACIONES**

### **6.1 Programa de investigaciones con fines hidrogeológicos**

Para la caracterización hidrogeológica del área de estudio, se han ejecutado investigaciones de campo. Estas investigaciones han consistido en perforaciones diamantinas y perforaciones Wash Boring, así como investigaciones geofísicas por medio de líneas de tomografía geoeléctrica.

#### **6.1.1 Perforaciones diamantinas y perforaciones Wash Boring**

En la quebrada Chingará se encuentran sectores donde se presenta suelo firme y afloramientos rocosos, así como también suelos blandos conformado por depósito de bofedal o materiales saturados. Considerando dichas condiciones, se han ejecutado 02 tipos de perforaciones; el primer tipo de investigaciones a través de máquinas perforadoras, las cuales pueden perforar suelo y roca y su ubicación es sobre terreno firme; el segundo tipo de investigaciones corresponde a perforaciones tipo Wash Boring, que consiste en máquinas perforadoras manuales, las cuales son livianas y pueden manipularse e instalarse sobre suelos blandos. Ver fotografías Nro. 07 y 08.

En los Tablas N° 19 y N° 20, se presentan las perforaciones ejecutadas.

**Tabla N° 19. Perforaciones diamantinas**

Perforación Diamantina	Coordenadas		Cota (msnm)	Ubicación con respecto a la quebrada Chingará	Profundidad ejecutada (m)
	Norte	Este			
P-1	8 760 377	340 454	4 665	Estribo derecho	25,00
P-2	8 760 285	340 485	4 658	Estribo derecho	30,30
P-3	8 760 284	340 546	4 654	Estribo derecho	30,40
P-4	8 760 283	340 598	4 646	Eje de quebrada	20,00
P-5	8 760 283	340 688	4 653	Margen izquierda	35,20
P-6	8 760 312	340 605	4 649	Eje de quebrada	10,00
P-7	8 760 238	340 599	4 644	Eje de quebrada	15,00

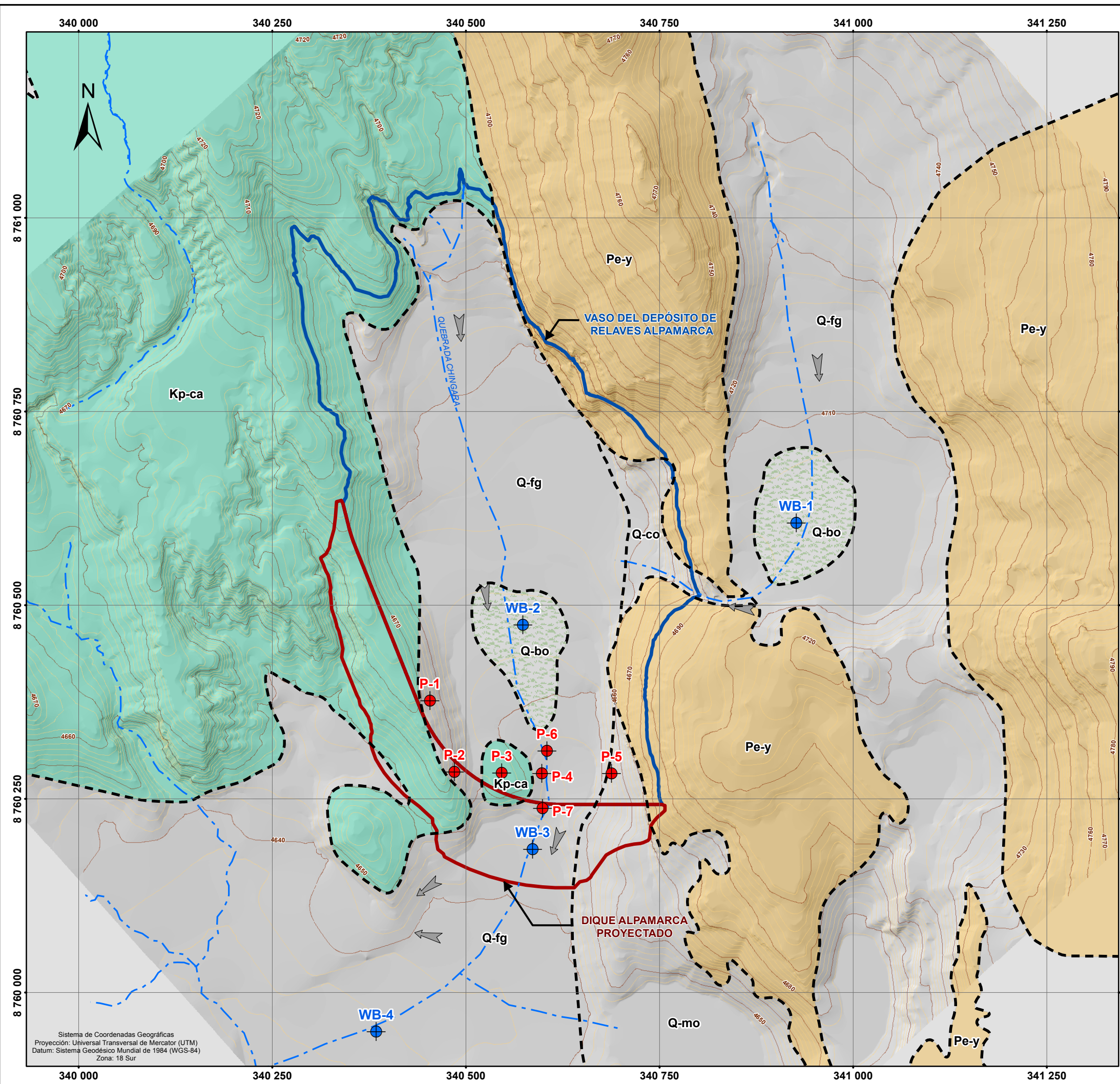
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 20. Perforaciones WashBoring**

Perforación Wash Boring	Coordenadas		Cota (msnm)	Ubicación con respecto a la quebrada Chingará	Profundidad ejecutada (m)
	Norte	Este			
WB-1	8 760 606	340 927	4 706	Margen izquierda	10,00
WB-2	8 760 475	340 574	4 652	Sector central	22,40
WB-3	8 760 185	340 586	4 641	Aguas abajo	6,45
WB-4	8 760 950	340 384	4 635	Aguas abajo	10,45

Fuente: Elaboración Propia

En la Lámina N° 08 se presentan las investigaciones ejecutadas en el sector de estudio, a través de perforaciones diamantinas y perforaciones Wash Boring.



**INVESTIGACIÓN GEOTECNICAS  
PERFORACION DIAMANTINA  
CUADRO DE COORDENADAS**

SONDEO	WGS 84 ZONA 18 S		PROFUNDIDAD EJECUTADA (m)	PROFUNDIDAD CONTACTO SUELO / ROCA (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)		
P-1	340 454	8 760 377	25,00	1,50
P-2	340 485	8 760 285	30,30	0,15
P-3	340 546	8 760 284	30,40	0,15
P-4	340 598	8 760 283	20,00	3,00
P-5	340 688	8 760 283	35,20	0,15
P-6	340 605	8 760 312	10,00	0,50
P-7	340 599	8 760 238	15,00	0,40

**INVESTIGACIÓN GEOTECNICAS  
PERFORACION WASH BORING  
CUADRO DE COORDENADAS**

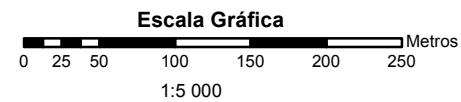
SONDEO	WGS 84 ZONA 18 S		PROFUNDIDAD EJECUTADA (m)	PROFUNDIDAD CONTACTO SUELO / ROCA (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)		
WB-1	340 927	8 760 606	10,00	10,00
WB-2	340 574	8 760 475	22,40	22,40
WB-3	340 586	8 760 185	6,45	6,45
WB-4	340 384	8 759 950	10,45	10,45

**LEYENDA GEOLÓGICA**

SISTEMA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SIMBOLO
CUATERNARIO	Fluvioglaciares	Q-fg
	Bofedal	Q-bo
	Morrena	Q-mo
PALEOGENO	Yantac	Pe-y
CRETÁCEO	Casapalca	Kp-ca

**LEYENDA**

- PERFORACIÓN DIAMANTINA
- PERFORACIÓN WASH BORING
- QUEBRADA
- CONTACTO GEOLÓGICO
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
- DIQUE ALPAMARCA PROYECTADO
- VASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES ALPAMARCA



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA


---

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

---

TÍTULO DEL PLANO:  
**INVESTIGACIONES GEOTECNICAS  
PERFORACIONES DIAMANTINAS Y PERFORACIONES WASH BORING**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File	LAMINA N° 08
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:5 000	N° Plano	Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 08	M.D.L.T.



Fuente:  
-Geoservice Ingeniería S.A.C.  
-Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000  
-Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.  
-Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET.

Sistema de Coordenadas Geográficas  
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)  
Datum: Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84)  
Zona: 18 Sur

**Fotografía Nro. 07:** Perforación diamantina P-7



Fuente: Elaboración Propia

**Fotografía Nro. 08:** Perforación WashBoring WB-2



Fuente: Elaboración Propia

A continuación se describen las características de los materiales identificados por medio del programa de perforaciones diamantinas y perforaciones Wash Boring ejecutadas en la zona de estudio.

#### 6.1.1.1 Registro de perforación diamantina P-1

Perforación Diamantina	Profundidad (m)	Descripción
P-1	0,00 – 1,50	Material de cobertura, arcillas producto de la descomposición de la roca.
	1,50 – 25,00	Lutitas de la formación Casapalca, poco alteradas, medianamente duras, fracturadas, roca de mediana calidad.

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.1.2 Registro de perforación diamantina P-2

Perforación Diamantina	Profundidad (m)	Descripción
P-2	0,00 – 0,15	Material de cobertura, arcillas producto de la descomposición de la roca.
	0,15 – 30,30	Lutitas de la formación Casapalca, poco alterada, medianamente dura, fracturada, roca de mediana calidad.

### 6.1.1.3 Registro de perforación diamantina P-3

<b>Perforación Diamantina</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
P-3	0,00 – 0,15	Material de cobertura, arcillas producto de la descomposición de la roca.
	0,15 – 30,40	Lutitas de la formación Casapalca, poco alteradas, medianamente duras, fracturadas, roca de mediana calidad.

Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.1.4 Registro de perforación diamantina P-4

<b>Perforación Diamantina</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
P-4	0,00 – 3,00	Suelo residual, grava limosa, color marrón rojizo, medianamente densa, finos de baja plasticidad.
	3,00 – 20,00	Lutitas de la formación Casapalca, poco alteradas, medianamente duras, fracturadas, roca de mediana calidad.

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.1.5 Registro de perforación diamantina P-5

<b>Perforación Diamantina</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
P-5	0,00 – 0,15	Material de cobertura, representado por arcillas producto de la descomposición de la roca.
	0,15 – 25,00	Areniscas y conglomerados de la formación Yantac, poco alteradas, duras, poco fracturada, de calidad media.

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.1.6 Registro de perforación diamantina P-6

<b>Perforación Diamantina</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
P-6	0,00 – 0,50	Material de cobertura, representado por arcillas producto de la descomposición de la roca.
	0,50 – 10,00	Lutitas de la formación Casapalca, poco alteradas, duras, poco fracturadas, de calidad media.

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.1.7 Registro de perforación diamantina P-7

<b>Perforación Diamantina</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
P-7	0,00 – 0,40	Material de cobertura, representado por arcillas producto de la descomposición de la roca.
	0,50 – 15,00	Lutitas de la formación Casapalca, poco alteradas, duras, poco fracturadas, de calidad media.

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.1.8 Registro de perforación Wash Boring WB-1

<b>Perforación Wash Boring</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción</b>
WB-1	0,00 – 8,45	Suelo orgánico de color negro oscuro, húmedo, muy blando, medianamente plástico, con presencia de raíces.
	8,45 – 10,00	Arcilla inorgánica gravosa, color marrón, húmedo, compacta, de mediana plasticidad. En la base contacto con macizo rocoso (Formación Yantac).

Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.1.9 Registro de perforación Wash Boring WB-2

Perforación Wash Boring	Profundidad (m)	Descripción
WB-2	0,00 – 10,00	Suelo orgánico, color negro oscuro, húmedo, suelo limo arcilloso, medianamente plástico, presencia de raíces.
	10,00 – 16,45	Arcilla inorgánica, color marrón claro a marrón, húmeda a muy húmeda, medianamente compacta, plástica, presencia de gravas con TM de ½”.
	16,45 – 22,40	Arena arcillosa con algo de gravillas, medianamente compacta, finos de mediana plasticidad, presencia de gravas con tamaño máximo de ½”. En la base se encuentra el macizo rocoso, margas rojas, alteradas de mediana dureza (formación Casapalca).

Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.1.10 Registro de perforación Wash Boring WB-3

Perforación Wash Boring	Profundidad (m)	Descripción
WB-3	0,00 – 2,00	Suelo orgánico, color negro oscuro a marrón, húmedo, blando, suelo limo arcilloso, medianamente plástico, con presencia de raíces.
	2,00 – 6,00	Arcilla inorgánica gravosa, color marrón claro, húmeda a muy húmeda, muy blanda, medianamente plástica, con presencia de gravas con tamaño máximo ½”.
	6,00 – 6,45	Grava arcillosa, muy húmeda, medianamente compacta, finos de mediana plasticidad, presencia de gravas con tamaño máximo de 1”

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.1.11 Registro de perforación Wash Boring WB-4

Perforación Wash Boring	Profundidad (m)	Descripción
WB-4	0,00 – 2,10	Suelo orgánico, color negro oscuro a marrón, húmedo, blando, suelo limo arcilloso, medianamente plástico, con presencia de raíces.
	2,10 – 10,45	Arcilla inorgánica gravosa, color marrón claro, húmeda a muy húmeda, muy blanda, medianamente plástica, con presencia de gravas con tamaño máximo ½”.

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.2 Ensayos de permeabilidad

Con la finalidad de conocer las condiciones hidráulicas del subsuelo, se han ejecutado ensayos de permeabilidad en las perforaciones diamantinas y perforaciones Wash Boring; la ejecución de estos ensayos permitirá conocer las características de conductividad hidráulica de los materiales encontrados en los sondeos exploratorios.

Estos ensayos son mediciones por los cuales se obtienen valores indicativos de la conductividad del estrato en que se desarrolla la prueba.

La conductividad es la capacidad de un medio (un suelo y/o roca) para permitir el paso del agua.

No siempre las mediciones de permeabilidad ejecutadas con muestras en laboratorio son confiables ni concluyentes sobre el comportamiento del terreno, por ello es preciso efectuar ensayos in situ.

Existen tres tipos de ensayos de permeabilidad:

- **Ensayo de permeabilidad Lefranc carga constante:** aplicado para suelos permeables, como arenas y grava; y rocas muy fracturadas o fracturadas.
- **Ensayo de permeabilidad Lefranc carga variable:** aplicado para suelos de baja permeabilidad, como arenas finas, limos y arcillas.
- **Ensayos de permeabilidad Lugeon:** aplicado para basamento rocoso de buena calidad poco alterado.

### **6.1.2.1 Ensayo de permeabilidad Lefranc carga constante**

Esta designación es dada porque durante la ejecución de todo el ensayo, se procura que se tenga una carga hidráulica o ingreso de caudal constante en el tramo donde se desarrolla el ensayo.

#### **Preparación del bulbo de ensayo e instalación del equipo:**

- Alcanzada la profundidad del ensayo, se baja el revestimiento o casing de la perforación hasta el fondo del taladro y luego se levanta tanto como mida el tramo de ensayo elegido, que generalmente oscila entre 0,50 a 5,00 metros.
- Seguidamente por medio de una sonda eléctrica se mide la profundidad del nivel freático.
- Se instala el equipo de prueba, en el siguiente orden: bomba de agua, válvulas para el control de suministro de agua al taladro, complementado con una válvula de descarga en T. Seguido a la válvula para el control del suministro de agua al taladro, va un

caudalímetro. Todos estos accesorios de prueba son conectados convenientemente con tuberías o mangueras.

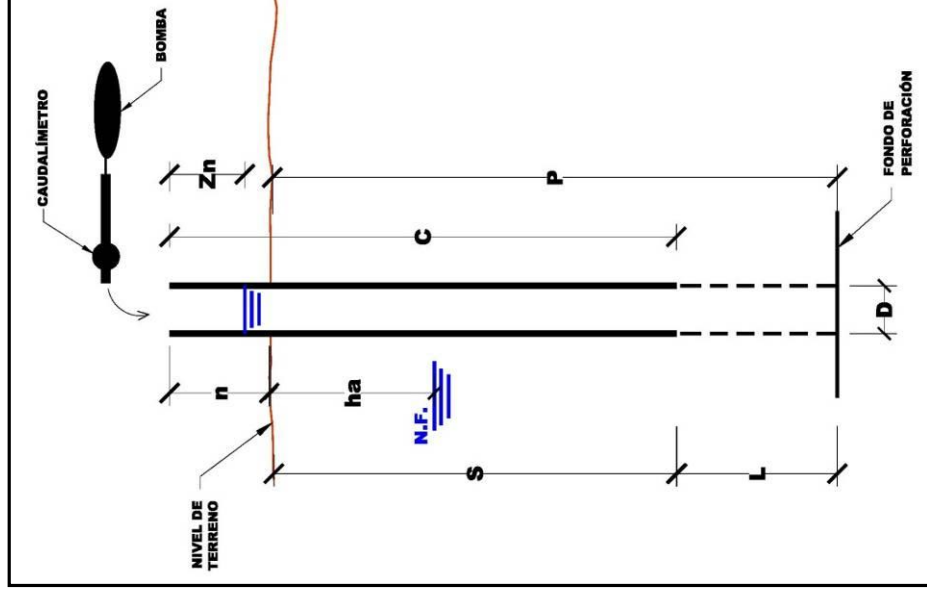
### **Procedimiento de prueba**

Se introduce o inyecta agua mediante una bomba en la boca de la tubería de la perforación, inundando todo el taladro hasta conseguir que el nivel de agua sea constante y alcance la boca de la tubería; consecuentemente con un consumo constante (Zn). El control del nivel constante es posible mediante las válvulas de suministro de agua al taladro.

Conseguida la estabilización del nivel del agua en la boca de la tubería de la perforación, se determina el caudal que ingresa a través de la tubería mediante el caudalímetro por diferencia de lecturas en cada minuto transcurrido. Se efectuarán las lecturas durante al menos 10 minutos con el nivel estabilizado y el caudal es el promedio de estas 10 lecturas.

El nivel constante determina una carga constante que actúa sobre el tramo de ensayo.

Figura N° 20. Esquema ensayo de permeabilidad carga constante



Donde:

- $n$  = Sobrante de Revestimiento (m)
  - $h_a$  = Profundidad del Nivel Freático (m)
  - $S$  = Profundidad del Revestimiento (m)
  - $L$  = Longitud del Tramo de Ensayo (m)
  - $Z_n$  = Profundidad del Agua a Nivel Constante (m)
  - $C$  = Longitud Total del Revestimiento
  - $P$  = Profundidad del frente de perforación (m)
  - $D$  = Diámetro del Bulbo de Ensayo (m)
  - $H$  = Sobrecarga Hidráulica (m)
- $H_a + n - Z_n$

Fuente: Elaboración Propia

### **Cálculo del valor de la permeabilidad (k)**

Conocidos los parámetros referidos en el párrafo anterior, se procede al cálculo de la permeabilidad, el cual considera el caudal promedio (Q) ingreso en el ensayo, así como el tiempo de infiltración.

Para el cálculo de permeabilidad (k), existen tres casos, utilizando fórmulas como se muestran en el siguiente cuadro

Tabla N° 21. **Cálculo de la permeabilidad carga constante**

<b>Caso</b>	<b>Condición</b>	<b>k</b>
Caso I	$L/D = 0$	$k = Q/(P \times D \times H)$
Caso II	$L/D \leq 2$	$k = Q/(2 \times P \times D \times H \times (L/D + 0,25)^{0,5})$
Caso III	$L/D \geq 2$	$k = Q \times \ln (2L/D) / (2 \times P \times H \times L)$

Fuente: Elaboración Propia

En el siguiente cuadro se muestra la hoja de reporte donde se toman los datos de campo para el cálculo de la permeabilidad.

Tabla N° 22.Formato de ensayo Lefranc carga constante

<b>COMPAÑÍA MINERA ALPAMARCA S.A.</b> <b>“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL AREA DE EMPLAZAMIENTO DEL                      NUEVO DEPOSITO DE RELAVES ALPAMARCA                      PROVINCIA DE YAULI - JUNIN”</b>					
Investigación	:		Cliente	:	
Identificación	:		Consultor	:	
Ubicación	:		Elaborador por	:	
Nro de Ensayo	:		Revisado por	:	
Tramo de Ensayo (m)	:		Aprobado por	:	
Fecha	:				
Hora	:				
ENSAYO DE PERMEABILIDAD – CARGA CONSTANTE					
ha	:	Profundidad nivel freático (m)			
n	:	Sobrante del revestimiento (m)			
S	:	Profundidad del revestimiento (m)			
C	:	Longitud Total del revestimiento (m)			
p	:	Profundidad del frente de perforación			
L	:	Longitud del bulbo de ensayo (cm)			
Zn	:	Profundidad agua a nivel constante (m)			
D	:	Diámetro del bulbo de ensayo (cm)			
H	:	Sobrecarga hidráulica (cm.)			
H	:	ha + n - Zn (cm)			
TIPO DE ENSAYO: CARGA CONSTANTE					
t (min)		Q(l)		$\Delta Q$ (l/min)	
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
CÁLCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD					
CÁLCULO DEL CAUDAL (Q)			CÁLCULO DE PERMEABILIDAD (K)		
Q =		l/min	CASO I	si: L/D = 0	K = Q / (P x D x H)
Q =		cm <sup>3</sup> /seg	CASO II	si: L/D <= 2	K = Q / (2 x P x D x H x (L/D + 0.25) <sup>0.5</sup> )
			CASO III	si: L/D > 2	K = Q x ln (2L/D) / (2 x P x H x L)
				k =	cm / seg
OBSERVACIONES:					

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA**

Fuente: Elaboración Propia

### **6.1.2.2 Ensayo de permeabilidad Lefranc carga variable**

El ensayo Lefranc con carga variable utiliza los mismos criterios del ensayo con carga constante, respecto a la preparación del bulbo de ensayo e instalación del equipo.

El procedimiento de lecturas en el ensayo de carga variable marca la diferencia entre los dos ensayos: en el ensayo con carga variable después de inyectar agua al interior del casing o tubería de perforación y haber alcanzado un nivel constante dentro del revestimiento (generalmente hasta la boca de la tubería), se corta el suministro de agua y se empieza a medir la distancia del descenso del agua desde la boca de la tubería, al principio en lapsos de tiempo cortos y después más largo, a medida que el nivel de agua se acerca de la estabilización, el descenso y lecturas son variables, de ahí el nombre.

Para el cálculo de la permeabilidad, se tiene en cuenta los valores de caudales infiltrados así como el tiempo transcurrido, obteniéndose la permeabilidad (cm/seg.).

El esquema de ensayo es igual al de nivel constante.

**Tabla N° 23.Formato de ensayo Lefranc carga variable**

COMPAÑÍA MINERA ALPAMARCA S.A.				
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL AREA DE EMPLAZAMIENTO DEL NUEVO DEPOSITO DE RELAVES ALPAMARCA PROVINCIA DE YAULI - JUNIN"				
Investigación	:		Cliente	:
Identificación	:		Consultor	:
Ubicación	:		Elaborador por	:
Nro de Ensayo	:		Revisado por	:
Tramo de Ensayo (m)	:		Aprobado por	:
Fecha	:			
Hora	:			
ENSAYO DE PERMEABILIDAD - CARGA VARIABLE				
ha	:	Profundidad nivel freático (m)		
n	:	Sobrante del revestimiento (m)		
S	:	Profundidad del revestimiento (m)		
C	:	Longitud Total del revestimiento (m)		
P	:	Profundidad del frente de perforación (m)		
L	:	Longitud del bulbo de ensayo (cm)		
Zn	:	Profundidad agua a nivel constante (m)		
D	:	Diámetro del bulbo de ensayo (cm)		
H	:	Sobrecarga hidráulica (cm.)		
H	:	ha + n - Zn (cm)		
TIPO DE ENSAYO: CARGA VARIABLE				
t (min)		Zn (cm)		$\Delta Zn$
0				
1				
2				
3				
4				
5				

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA**

CÁLCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD			
CÁLCULO DEL CAUDAL (Q)		CÁLCULO DE PERMEABILIDAD (K)	
$Q = \frac{\pi \times D^2 \times \Delta Z}{4 \times 60 \times \Delta t}$		CASO I	si: L/D = 0      K = Q / (P x D x H)
$\Delta t = t_2 - t_1 =$		CASO II	si: L/D <= 2      K = Q / (2 x P x D x H x (L/D + 0.25) <sup>0.5</sup> )
$\Delta Z = Z_2 - Z_1 =$		CASO III	si: L/D > 2      K = Q x ln(2L/D) / (2 x P x H x L)

Fuente: Elaboración Propia

### **6.1.2.3 Ensayo de permeabilidad Lugeon**

Los ensayos de permeabilidad Lugeon son ejecutados en roca de buena calidad, y se inyecta agua para conocer la velocidad de infiltración en el macizo rocoso. La presión del agua inyectada es alta, para poder penetrar el flujo de agua en la roca.

El principio básico para la ejecución de este ensayo, es tener tramos de roca de buena calidad con un RQD mayor a 70 – 80 %.

En los trabajos de perforación para este estudio, no se realizaron ensayos de permeabilidad Lugeon.

### **6.1.2.4 Ensayo de permeabilidad ejecutados**

En los siguientes cuadros se muestra el resumen de los ensayos de permeabilidad lefranc carga constante y carga variable.

Se han ejecutado 28 ensayos de permeabilidad lefranc carga constante; y 12 ensayos de permeabilidad lefranc carga variable.

**Fotografía Nro. 09:** Ensayo de permeabilidad en perforación P-5



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 24. Resultados de permeabilidad - perforación P-1

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	3,00 – 5,00	Lefranc Constante	$5,603 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
02	6,35 – 8,40	Lefranc Constante	$3,290 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
03	12,00 – 14,00	Lefranc Constante	$1,176 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
04	18,40 – 20,40	Lefranc Constante	$2,378 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
05	23,00 – 25,00	Lefranc Constante	$2,738 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 25. Resultados de permeabilidad - perforación P-2

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	1,00 – 3,00	Lefranc Constante	$1,608 \times 10^{-2}$	Alto	Lutitas fracturadas
02	4,00 – 6,00	Lefranc Constante	$6,100 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
03	7,00 – 9,00	Lefranc Constante	$3,920 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
04	10,00 – 13,00	Lefranc Constante	$3,528 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
05	16,00 – 18,00	Lefranc Constante	$3,740 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
06	20,00 – 22,00	Lefranc Constante	$3,009 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
07	26,00 – 28,00	Lefranc Constante	$2,898 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 26. Resultados de permeabilidad - perforación P-3

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	3,20 – 5,20	Lefranc Constante	$4,800 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
02	6,80 – 7,50	Lefranc Constante	$2,849 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
03	11,40 – 12,40	Lefranc Constante	$1,995 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
04	17,40 – 18,40	Lefranc Constante	$1,212 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
05	23,40 – 24,40	Lefranc Constante	$1,566 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
06	29,40 – 30,40	Lefranc Constante	$1,394 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 27. Resultados de permeabilidad -perforación P-4

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	2,00 – 2,80	Lefranc Variable	$3,408 \times 10^{-5}$	Bajo	Suelo orgánico arcilloso
02	9,00 – 9,60	Lefranc Constante	$6,516 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
03	12,00 – 13,20	Lefranc Constante	$5,184 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas
04	19,00 – 19,50	Lefranc Constante	$7,884 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas fracturadas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 28. Resultados de permeabilidad - perforación P-5

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	3,20 – 4,40	Lefranc Constante	$5,722 \times 10^{-4}$	Moderado	Areniscafracturada
02	4,40 – 6,40	Lefranc Constante	$1,664 \times 10^{-4}$	Moderado	Areniscafracturada
03	7,50 – 10,50	Lefranc Constante	$8,653 \times 10^{-4}$	Moderado	Areniscafracturada
04	13,90 – 16,40	Lefranc Constante	$5,473 \times 10^{-4}$	Moderado	Areniscafracturada
05	16,50 – 19,00	Lefranc Constante	$1,416 \times 10^{-3}$	Moderado	Areniscafracturada
06	18,50 – 21,00	Lefranc Constante	$9,813 \times 10^{-4}$	Moderado	Areniscafracturada
07	22,00 – 25,00	Lefranc Constante	$1,328 \times 10^{-3}$	Moderado	Areniscafracturada

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 29. Resultados de permeabilidad - perforación P-6

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	2,00 – 4,00	Lefranc Constante	$2,736 \times 10^{-6}$	Bajo	Lutitas poco fracturadas
02	8,00 – 10,00	Lefranc Constante	$7,111 \times 10^{-6}$	Bajo	Lutitas poco fracturadas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 30. Resultados de permeabilidad - perforación P-7

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	5,60 – 6,20	Lefranc Constante	$6,535 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas poco fracturadas
02	12,10 – 13,10	Lefranc Constante	$6,609 \times 10^{-3}$	Moderado	Lutitas poco fracturadas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 31. Resultados de permeabilidad - perforación WB-1

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	8,00 – 10,00	Lefranc Variable	$9,771 \times 10^{-6}$	Bajo	Arcilla gravosa

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 32. Resultados de permeabilidad - perforación WB-2

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	6,00 – 8,00	Lefranc Variable	$8,160 \times 10^{-5}$	Bajo	limoso arcilloso
02	8,00 – 10,00	Lefranc Variable	$5,360 \times 10^{-5}$	Bajo	limoso arcilloso
03	12,00 – 14,00	Lefranc Variable	$7,886 \times 10^{-6}$	Bajo	Arcilla inorgánica
04	16,00 – 18,00	Lefranc Variable	$5,032 \times 10^{-5}$	Bajo	Arena arcillosa

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 33. Resultados de permeabilidad - perforación WB-3

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	3,00 – 3,60	Lefranc Variable	$7,634 \times 10^{-6}$	Bajo	Arcilla gravosa
02	4,00 – 4,60	Lefranc Variable	$9,328 \times 10^{-5}$	Bajo	Grava arcillosa
03	6,00 – 6,45	Lefranc Variable	$6,877 \times 10^{-6}$	Bajo	Arcilla gravosa

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 34. Resultados de permeabilidad - perforación WB-4

Nro. de Ensayos	Profundidad de ensayo (m)	Ensayo de Permeabilidad	Permeabilidad k (cm/s)	Rango	Tipo de Material
01	2,00 – 4,00	Lefranc Variable	$2,736 \times 10^{-5}$	Bajo	Arcilla
02	8,00 – 10,00	Lefranc Variable	$7,111 \times 10^{-6}$	Bajo	Arcilla gravosa

Fuente: Elaboración Propia

## **Evaluación de resultados de ensayos de permeabilidad**

En base a los ensayos de permeabilidad, se ha realizado la evaluación respectiva, la cual se describe a continuación.

- Los ensayos de permeabilidad ejecutados en la perforación diamantina P-1 (correspondiente al estribo derecho de la quebrada Chingará), han sido ejecutados en estratos rocosos fracturados y alterados de la formación Casapalca, y arrojan valores del orden de  $10^{-3}$  cm/s, correspondiente a rangos moderados de permeabilidad.
- La perforación diamantina P-2 se ejecutó en el estribo derecho de la quebrada Chingará, los ensayos de permeabilidad arrojan promedios de  $10^{-3}$  cm/s, siendo rangos de permeabilidad moderados. Estos ensayos se ejecutaron en rocas fracturadas y alteradas de la formación Casapalca.
- La perforación diamantina P-3 se ejecutó en el estribo derecho de la quebrada Chingará, los rangos de permeabilidad son moderados con un promedio de  $10^{-3}$  cm/s, los cuales corresponden a roca fracturada y alterada de la formación Casapalca.

- La perforación diamantina P-4 se ejecutó en el eje de la quebrada Chingará, inicialmente se atravesaron materiales arcillosos correspondiente al depósito bofedal, con rangos de permeabilidad bajos del orden de  $10^{-5}$  cm/s; subyaciendo se encontró el basamento rocoso fracturado y alterado de la formación Casapalca, con permeabilidades moderadas promedio de  $10^{-3}$  cm/s.
- La perforación diamantina P-5 se ejecutó en el estribo izquierdo de la quebrada Chingará, atravesando areniscas de la formación Yantac; los ensayos de permeabilidad ejecutados en este sector, arrojan rangos de permeabilidad modelados con  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$  cm/s.
- La perforación diamantina P-6 se ejecutó en el eje de la quebrada Chingará, atravesando lutitas de la formación Casapalca; los ensayos reportan rangos de permeabilidad bajos del orden de  $10^{-6}$  cm/s.
- La perforación P-7 fue ejecutada en el eje de la presa proyectada, y los ensayos de permeabilidad se realizaron en lutitas fracturadas y alteradas de la formación Casapalca, arrojando rangos moderados del orden de  $10^{-3}$  cm/s.

- La perforación Wash Boring WB-1 se ejecutó en la quebrada ubicada al Oeste de la quebrada Chingará, en una zona de bofedales, atravesando suelos arcillosos y limosos, los ensayos de permeabilidad ejecutados en dicho sector arrojan rango bajos del orden de  $10^{-6}$  cm/s.
- La perforación Wash Boring WB-2 se ejecutó en el área destinada al vaso o embalse del nuevo depósito de relaves Alpamarca; los estratos superiores corresponden a materiales orgánicos con contenidos de limos arcillosos, arrojando permeabilidades del orden de  $10^{-5}$  cm/s.; mientras que los estratos que subyacen corresponden a materiales con mayor contenido de arcillas con permeabilidades del orden de  $10^{-6}$  cm/s, en ambos casos rangos de permeabilidad bajos.
- La perforación Wash Boring WB-3 se ejecutó en el eje de la quebrada Chingará, aguas abajo de la perforación diamantina P-7, arrojando permeabilidades del orden de  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  cm/s correspondiente a suelos orgánicos y gravas arcillosas respectivamente.
- La perforación Wash Boring WB-4 se ejecutó aguas abajo del punto WB-3, arrojando permeabilidades del orden de  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  cm/s,

correspondiente a suelos arcillo gravosos pertenecientes al depósito bofedal.

### **6.1.3 Investigaciones geofísicas**

Se realizaron investigaciones geofísicas a través del método de Tomografía Geoeléctrica.

La tomografía geoeléctrica consiste en obtener una serie de medidas de resistividad; 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 secciones de resistividades. La sección constituye curvas que reflejan cualitativamente la variación espacial (2D) de resistividad aparente en el perfil investigado.

Las líneas de tomografía geoelectrica permiten conocer lo siguiente:

- ✓ Identificación de zonas saturadas
- ✓ Localización de túneles, galerías y oquedades

Las líneas de tomografía geoelectrica ejecutadas para el presente estudio se describen en el Cuadro N° 35. (Ver Fotografías N° 09 y N° 10).

Tabla N° 35. Líneas de Tomografía Geoelectrica

Línea de Tomográfica Geoelectrica	Longitud (m)
LG 1	260,00
LG 2	400,00
LG 3	840,00
LG 4	840,00
LG 5	840,00
LG 6	840,00
LG 7	1 000,00
LG 8	1 000,00
<b>Total</b>	<b>6 020,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

En la Lámina N° 09, se muestra la distribución de las líneas de tomografía geoelectrica ejecutadas en la zona de estudio.

**Fotografía Nro. 09:** Línea de tomografía geoeléctrica LTG-01

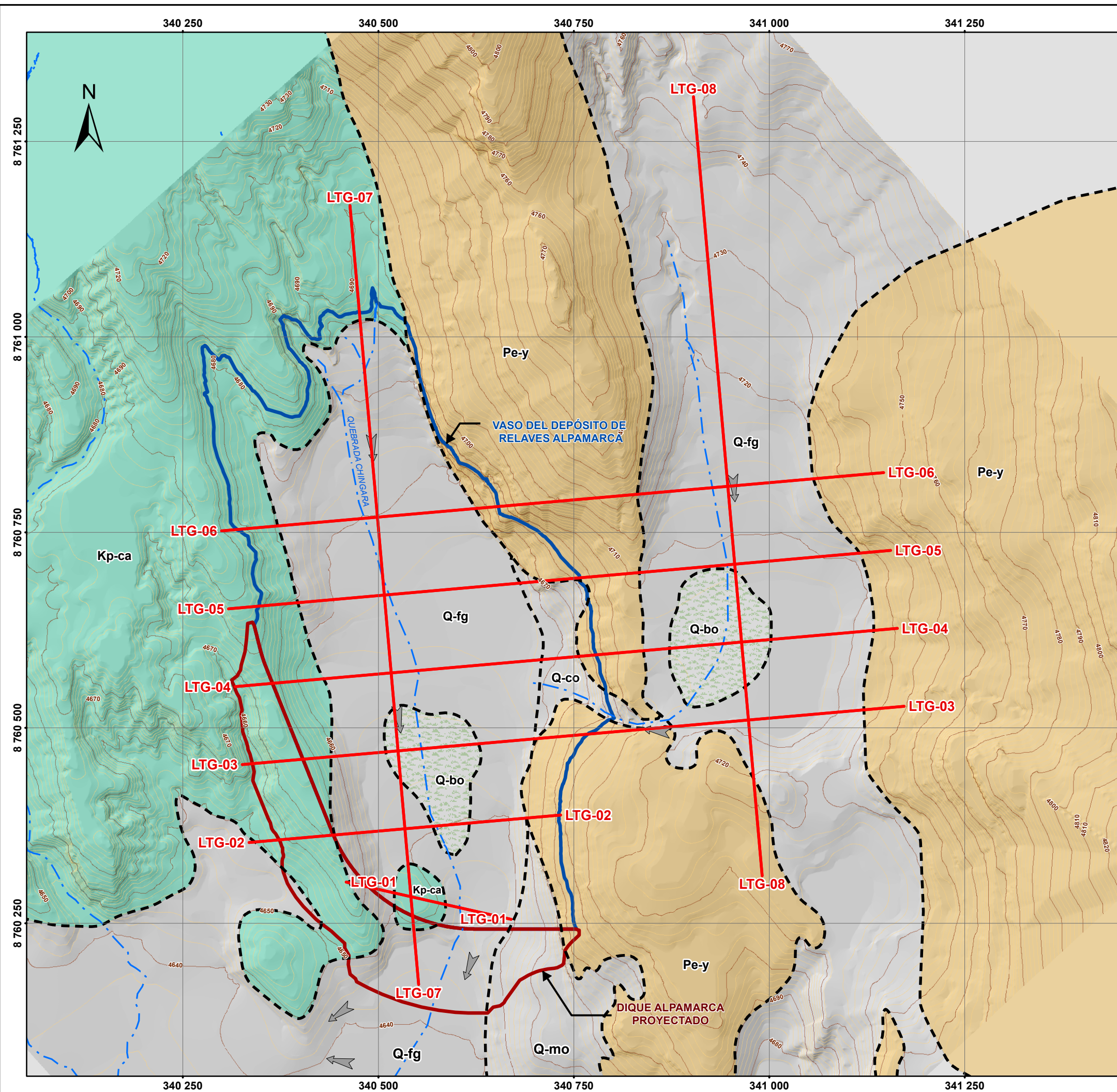


Fuente: Elaboración Propia

**Fotografía Nro. 10:** Adquisición de datos en campo de líneas de tomografía



Fuente: Elaboración Propia



LONGITUD DE LINEAS DE TOMOGRAFIA GEOELECTRICA	
LINEA	LONGITUD
LTG-01	260,00
LTG-02	400,00
LTG-03	840,00
LTG-04	840,00
LTG-05	840,00
LTG-06	840,00
LTG-07	1 000,00
LTG-08	1 000,00
<b>TOTAL</b>	<b>6 020,00</b>

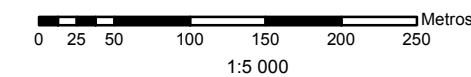
**LEYENDA GEOLÓGICA**

SISTEMA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO
CUATERNARIO	Fluvioglaciares	Q-fg
	Bofedal	Q-bo
	Morrena	Q-mo
PALEOGENO	Yantac	Pe-y
CRETÁCEO	Casapalca	Kp-ca

**LEYENDA**

- LÍNEA DE TOMOGRAFÍA GEOELECTRICA
- - - QUEBRADA
- CONTACTO GEOLÓGICO
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
- DIQUE ALPAMARCA PROYECTADO
- VASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES ALPAMARCA

**Escala Gráfica**



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO:				
<b>PROGRAMA DE INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS</b>				
<b>LÍNEAS DE TOMOGRAFIA GEOELÉCTRICA</b>				
Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File LAMINA N° 09
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:5 000	N° Plano Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 09 M.D.L.T.

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN. Cartas Nacionales 1:100 000  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.



### **6.1.3.1 Línea de tomografía geoelectrica LTG-1**

La línea de tomografía geoelectrica LTG-1 de 260 m de longitud, se ubicó en el eje de la presa proyectada en dirección Oeste –Este. Se observa que entre las progresivas 0+120 a 0+180 m, superficialmente se presentan materiales con resistividades entre 67 - 80 ohm-m, que corresponden al depósito de bofedal saturado con un espesor promedio de 3,00 m; seguidamente se encuentran materiales con resistividades entre 80 – 110 ohm-m, que representa la roca muy fracturada y parcialmente saturada con un espesor que alcanza aproximadamente los 5 m. Subyaciendo se presenta roca de mejor calidad con resistividades de 110 a 195 ohm-m, alcanzando los 50 m. Se observa que en los extremos de la quebrada Chingará, se presentan resistividades mayores a los 195 ohm-m; para el flanco Oeste, estas resistividades están relacionadas a los afloramientos de la formación Casapalca; mientras que en el sector Este, corresponden a la morrena lateral. (Ver lámina N° 10).

Tabla N° 36. Resultados línea de tomografía geoelectrica LTG-1

Tipo de material	Profundidad (m)	Resistividad Ohm-m	Descripción de los Materiales	Condición
1	0,0 – 3,00	67 - 80	Suelos blandos arcillas y limos,	Saturada
2	0,00 – 5,00	80 - 110	Morrenas, Roca muy fracturada, alterada de mala calidad.	Parcialmente saturada
3	0,00 – 50,0	110 - 195	Roca fracturada y alterada, roca de regular calidad	Húmeda
4	0,00 – 60,00	195 - 315	Morrena y roca de mejor calidad	Poco húmeda

Fuente: Elaboración Propia

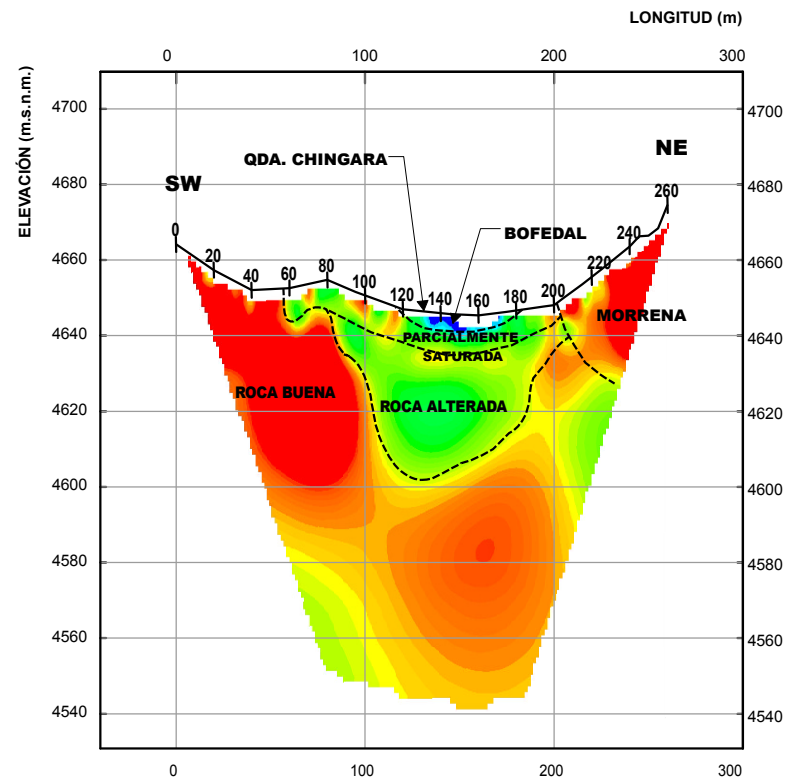
### **6.1.3.2 Línea de tomografía geoelectrica LTG-2**

La sección de tomografía geoelectrica LTG-2 de 400 m de longitud, se ejecutó aguas arriba del eje de presa, pudiendo alcanzar una profundidad de investigación de 110 m. Se observa entre las progresivas 0+200 a 0+320, superficialmente se presentan materiales con resistividades del orden de 67 a 80 ohm-m, de un espesor promedio de 8 m, correspondiente al depósito bofedal. Seguidamente se presentan materiales con resistividades del orden de 80 a 110 ohm-m, con una profundidad promedio hasta los 25,00 m, que estaría relacionada a roca muy fracturada y parcialmente saturada. Luego se presentan materiales con resistividades de 110 a 195 ohm-m hasta los 55 m en promedio, relacionados a roca fracturada poco húmeda. Finalmente a partir de los 55 m se presentan resistividades mayores a 195 ohm-m, relacionada a roca de buena calidad, poco húmeda. También se presentan materiales de resistividades por encima de los 195 ohm-m en los flancos de la quebrada Chingará; al sector Oeste corresponde a los afloramientos de la formación Casapalca; mientras que en el sector Este corresponde a la morrena lateral. (Ver Lámina N° 10).

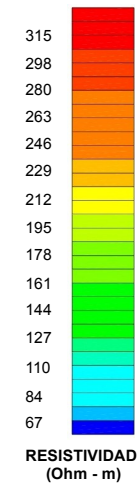
Tabla N° 37. Resultados línea de tomografía geoelectrica LTG-2

Tipo de material	Profundidad (m)	Resistividad Ohm-m	Descripción de los Materiales	Condición
1	0,00 – 8,0	67 - 80	Suelos blandos arcillas y limos,	Saturada
2	0,00 – 25,0	80 - 110	Morrenas, Roca muy fracturada, alterada de mala calidad.	Parcialmente saturada
3	0,00 – 55,0	110 - 195	Roca fracturada y alterada, roca de regular calidad	Húmeda Poco húmeda
4	0,00 – 90,0	195 - 315	Morrena y roca de mejor calidad	Poco húmeda

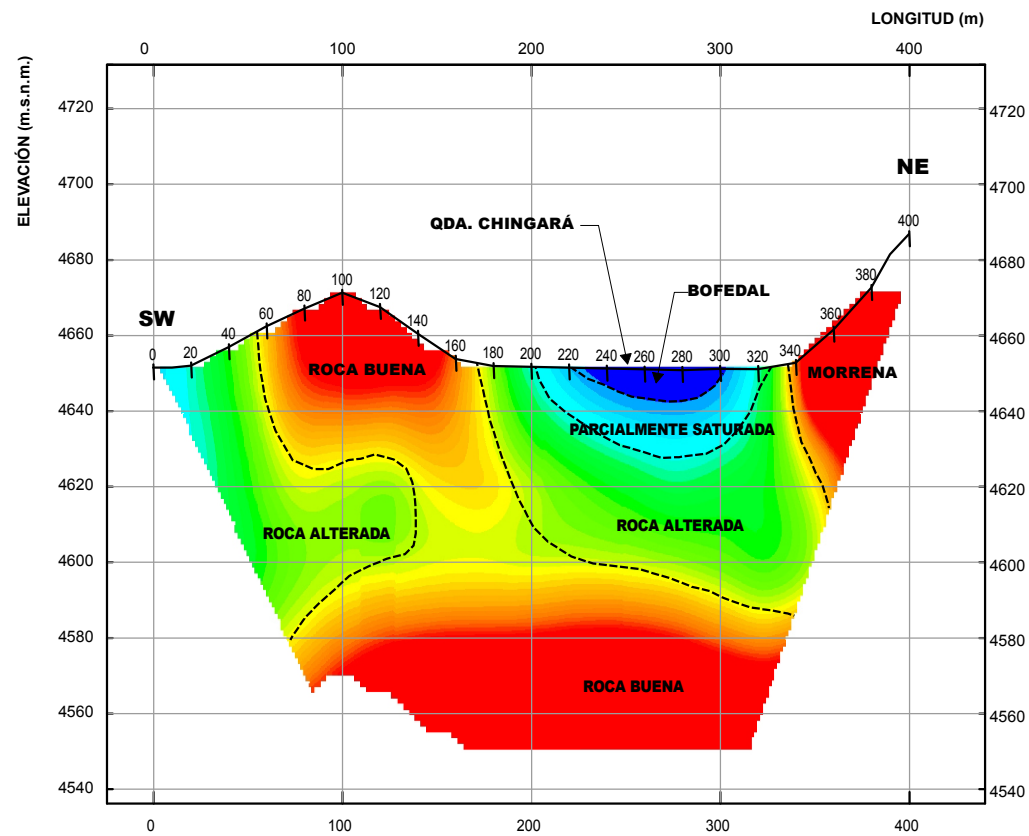
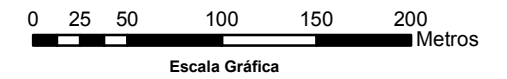
Fuente: Elaboración Propia



**SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG - 1**  
ESCALA 1 / 4 000



--- CONTACTO GEOELECTRICO



**SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG - 2**  
ESCALA 1 / 4 000


**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TITULO DEL PLANO:  
**SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG-1 Y LTG-2**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File	LAMINA N° 10
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:4 000	N° Plano	Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 10	M.D.L.T.

Fuente:  
-Geoservice Ingenieria S.A.C.



### **6.1.3.3 Línea de tomografía geoeléctrica LTG-3**

La línea de tomografía geoeléctrica LTG-03 de 840 m de longitud, se ejecutó desde la margen izquierda de la quebrada Chingará, hasta el sector de la quebrada adyacente en dirección Noreste. En la quebrada Chingará se presenta superficialmente materiales con resistividad de 67 a 80 ohm-m, relacionados al depósito de bofedal, con un espesor promedio de 12 m. Seguidamente se presenta materiales con resistividad de 80 a 110 ohm-m, relacionados a roca muy fracturada y parcialmente saturada, con una profundidad hasta los 25 m. Luego se observa resistividades de 110 a 195 ohm-m alcanzado una profundidad hasta los 55 m aproximadamente (roca fracturada y poco húmeda). Finalmente a partir de los 55 m se presentan resistividades altas del orden de 195 a 315 ohm-m, relacionados a roca de buena calidad. Se observa que entre las progresivas 0+360 a 0+540, se presentan resistividades mayores a 195 ohm-m, correspondientes a los afloramientos de la formación Yantac (Ver Lámina N ° 11).

Tabla N° 38. Resultados línea de tomografía geoelectrica LTG-3

Tipo de material	Profundidad (m)	Resistividad Ohm-m	Descripción de los Materiales	Condición
1	0,00 – 12,0	67 - 80	Suelos blandos arcillas y limos,	Saturada
2	0,00 – 25,0	80 - 110	Morrenas, Roca muy fracturada, alterada de mala calidad.	Parcialmente saturada
3	0,00 – 55,0	110 - 195	Roca fracturada y alterada, roca de regular calidad	Húmeda Poco húmeda
4	0,00 – 150,0	195 - 315	Morrena y roca de mejor calidad	Poco húmeda

Fuente: Elaboración Propia

#### **6.1.3.4 Línea de tomografía geoelectrica LTG-4**

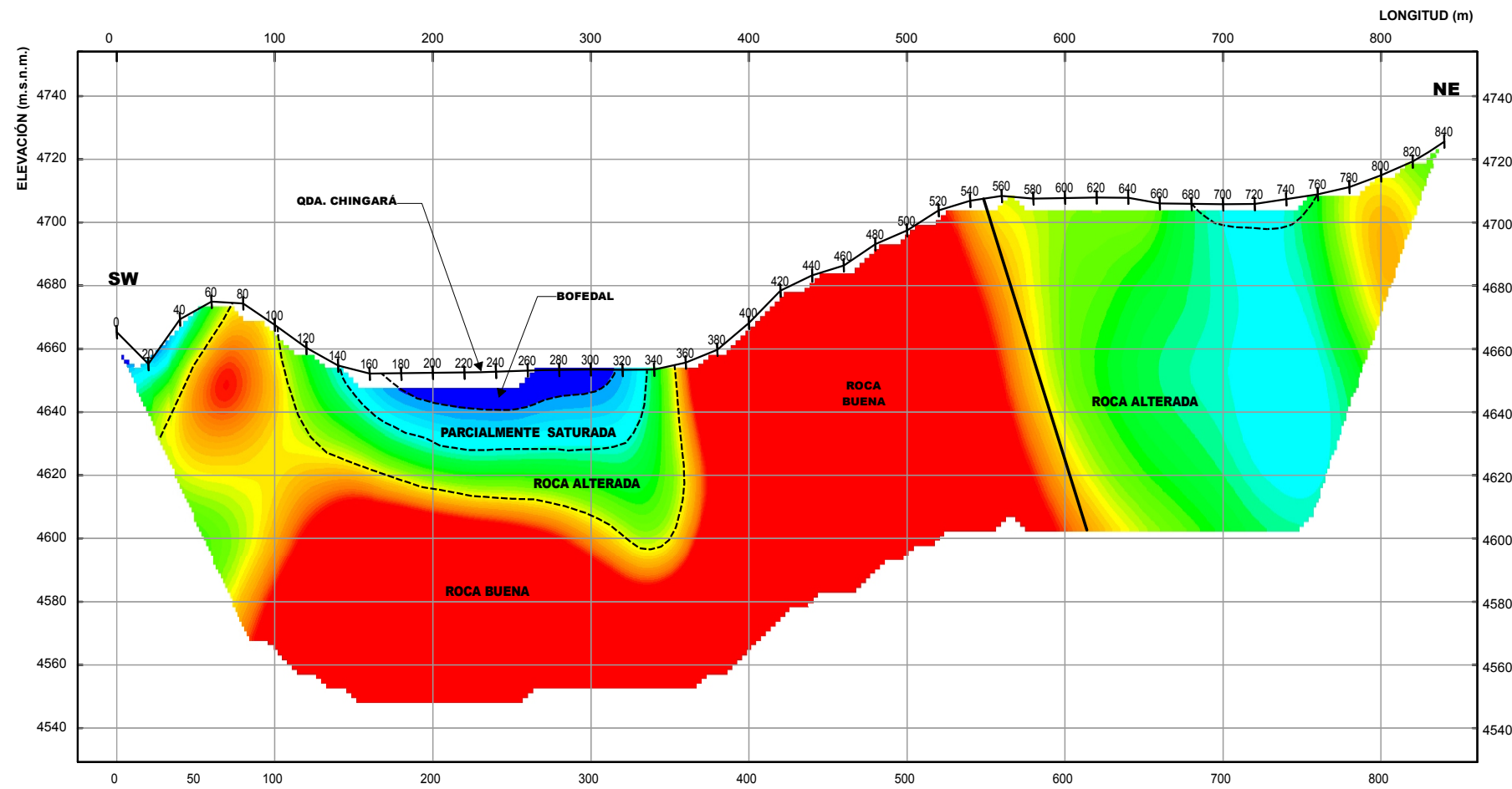
La línea de tomografía geoelectrica LTG-04 de 840 m de longitud, es paralela a la línea LTG-03 en dirección Norte.

Superficialmente se presentan materiales con resistividades entre 67 – 80 ohm-m, con una profundidad hasta los 12 m, relacionados a los depósitos de bofedal. Seguidamente se encuentran materiales con resistividades de 80 a 110 ohm-m, relacionados a roca muy fracturada y alterada, parcialmente saturada, pudiendo llegar hasta los 30 m. Luego se presentan materiales con resistividades del orden de 110 a 195 ohm-m, relacionados a roca poco fracturada y poco contenido de humedad, pudiendo alcanzar hasta los 60 m. Finalmente se presenta roca de mejor calidad con resistividades mayores a 195 ohm-m, al igual que entre las progresivas 0+400 a 0+520, representando los afloramientos de la formación Yantac (Ver Lámina N ° 11).

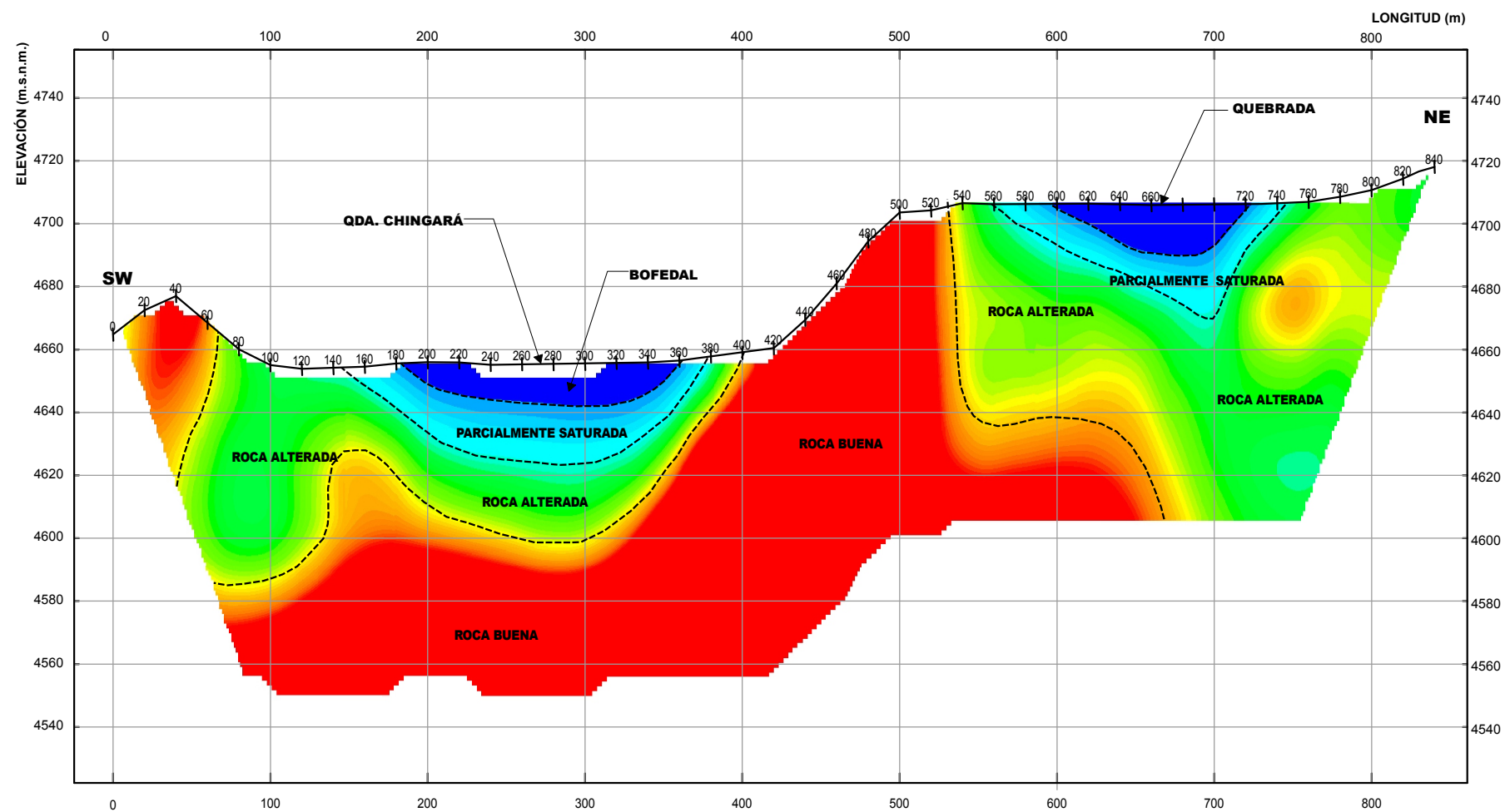
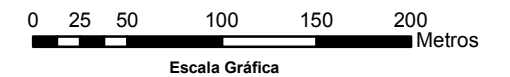
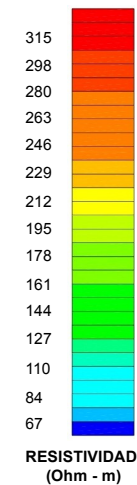
Tabla N° 39. Resultados línea de tomografía geoelectrica LTG-4

Tipo de material	Profundidad (m)	Resistividad Ohm-m	Descripción de los Materiales	Condición
1	0,00 – 12,0	67 - 80	Suelos blandos arcillas y limos,	Saturada
2	0,00 – 30,0	80 - 110	Morrenas, Roca muy fracturada, alterada de mala calidad.	Parcialmente saturada
3	0,00 – 60,0	110 - 195	Roca fracturada y alterada, roca de regular calidad	Húmeda Poco húmeda
4	0,00 – 150,0	195 - 315	Morrena y roca de mejor calidad	Poco húmeda

Fuente: Elaboración Propia



SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG - 3  
ESCALA 1 / 4 000



SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG - 4  
ESCALA 1 / 4 000

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

---


TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

---

TÍTULO DEL PLANO: **SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG-3 Y LTG-4**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File:	LAMINA N° 11
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:4 000	N° Plano:	LAMINA N° 11
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	Rev.:	M.D.L.T.

Fuente: -Geoservice Ingenieria S.A.C.



#### **6.1.3.5 Línea de tomografía geoelectrica LTG-5**

La línea de tomografía geoelectrica LTG-05 de 840 m de longitud, se realizó aguas arriba de la línea LTG-04.

En superficie, entre las progresivas 0+200 a 0+340, se encuentran materiales con resistividades de 67 a 80 ohm-m con un espesor del orden de 15 m, relacionados al depósito de bofedal. Subyaciendo se presentan materiales con resistividades de 80 a 110 ohm-m, hasta una profundidad de 35 m, correspondiente a roca muy fracturada y parcialmente saturada. Subyaciendo hasta los 60 m se encuentra resistividades que alcanzan los 195 ohm-m, relacionados a roca poco fracturada. Finalmente se presentan resistividades mayores a 195 ohm-m, relacionados a roca de buena calidad, así como entre las progresivas 0+380 a 0+540 relacionado a los afloramientos de la formación Yantac. (Ver Lámina N ° 12).

Tabla N° 40. Resultados línea de tomografía geoelectrica LTG-5

Tipo de material	Profundidad (m)	Resistividad Ohm-m	Descripción de los Materiales	Condición
1	0,00 – 15,0	67 - 80	Suelos blandos arcillas y limos,	Saturada
2	0,00 – 35,0	80 - 110	Morrenas, Roca muy fracturada, alterada de mala calidad.	Parcialmente saturada
3	0,00 – 60,0	110 - 195	Roca fracturada y alterada, roca de regular calidad	Húmeda Poco húmeda
4	0,00 – 150,0	195 - 315	Morrena y roca de mejor calidad	Poco húmeda

Fuente: Elaboración Propia

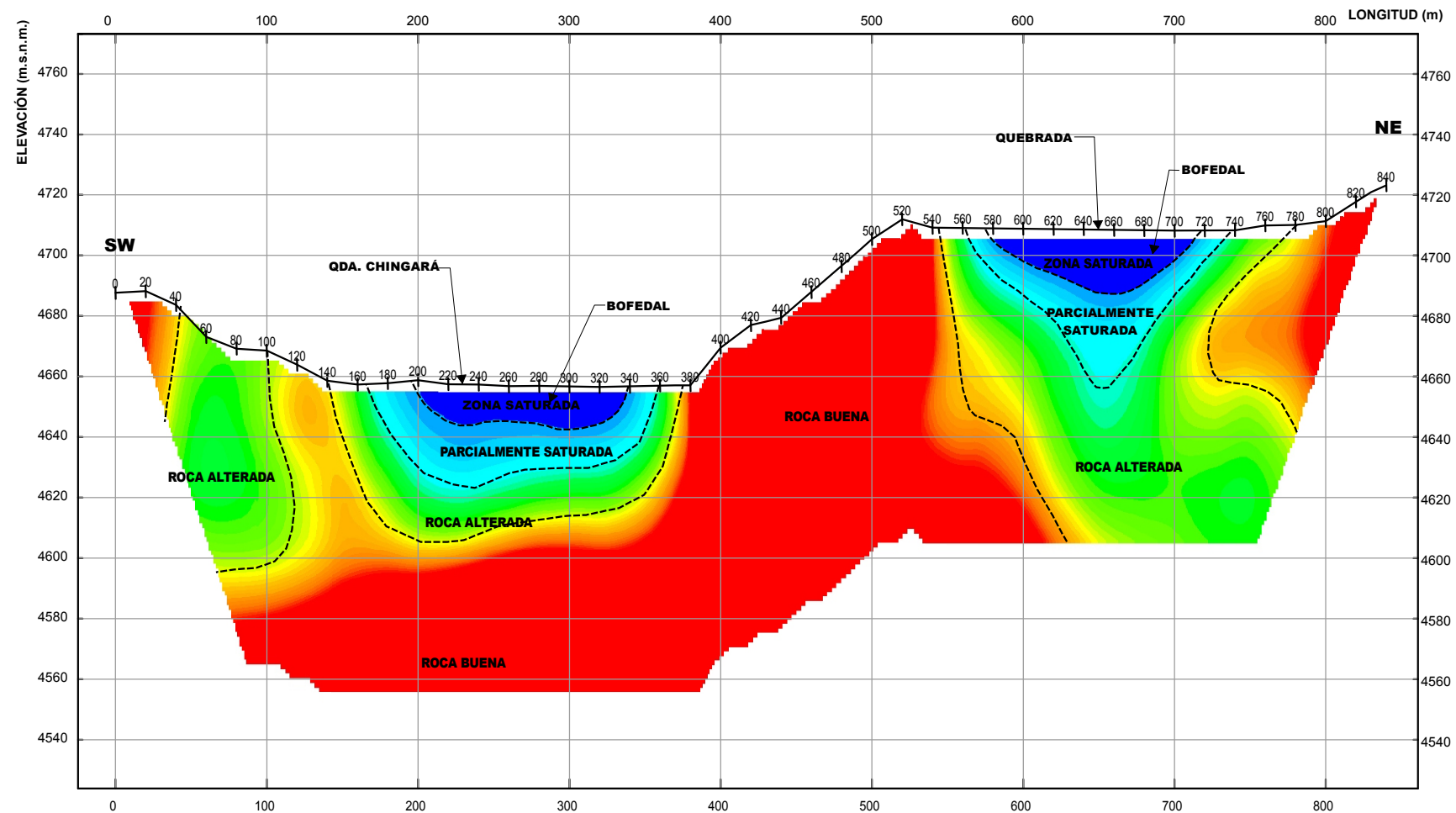
#### **6.1.3.6 Línea de tomografía geoelectrica LTG-6**

La sección de tomografía geoelectrica LTG-06 de 840 m de longitud, se ejecutó aguas arriba en la línea LTG-05. Superficialmente se presentan materiales con resistividad de 70 a 80 ohm-m, con una potencia aproximada de 8 m, relacionada a depósitos de bofedal. Seguidamente se presenta resistividades de 80 a 110 ohm con una potencia hasta los 25 m, relacionados a roca muy fracturada y alterada, saturada. Subyaciendo se encuentra roca poco fracturada con resistividades hasta 195 ohm-m hasta los 70 m; finalmente se encuentra roca de mejores condiciones con resistividades mayores a 195 ohm-m. (Ver Lámina N ° 12).

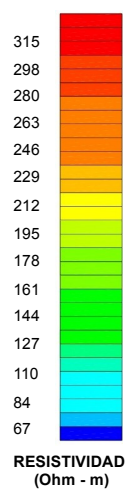
Tabla N° 41. Resultados línea de tomografía geoelectrica LTG-6

Tipo de material	Profundidad (m)	Resistividad Ohm-m	Descripción de los Materiales	Condición
1	0,00 – 15,0	70 - 80	Suelos blandos arcillas y limos,	Saturada
2	0,00 – 35,0	80 - 110	Morrenas, Roca muy fracturada, alterada de mala calidad.	Parcialmente saturada
3	0,00 – 60,0	110 - 195	Roca fracturada y alterada, roca de regular calidad	Húmeda Poco húmeda
4	0,00 – 150,0	195 - 315	Morrena y roca de mejor calidad	Poco húmeda

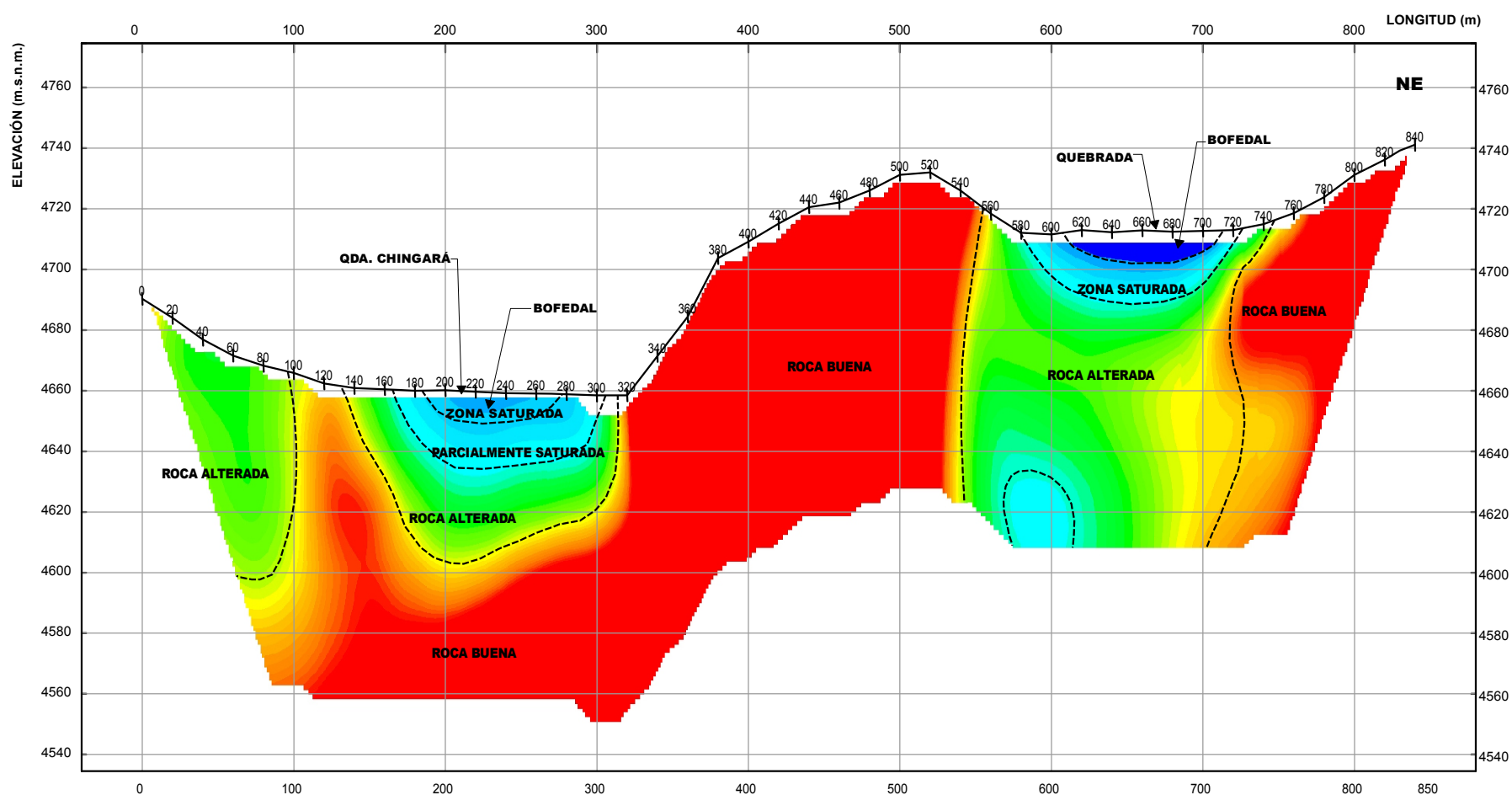
Fuente: Elaboración Propia



**SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG - 5**  
ESCALA 1 / 4 000



--- CONTACTO GEOELECTRICO



**SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG - 6**  
ESCALA 1 / 4 000


**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO: **SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG-5 Y LTG-6**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V	File	LAMINA N° 12
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:4 200	N° Plano	Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 12	M.D.L.T.

Fuente:  
-Geoservice Ingenieria S.A.C.



#### **6.1.3.7 Línea de tomografía geoelectrica LTG-7**

La línea de tomografía geoelectrica LG-07 de 1 000 m de longitud, se ejecutó longitudinal al vaso del depósito de relaves, en dirección Norte Sur.

Se puede definir un estrato superior con resistividades entre 67 y 80 ohm-m, con un espesor promedio que puede alcanzar hasta los 20 m, relacionado al depósito bofedal. Seguidamente hasta los 35 m se encuentra roca fracturada alterada y parcialmente saturada, con resistividades hasta los 110 ohm-m. Luego hasta los 70 m se presenta materiales con resistividades de 110 a 195 ohm-m, relacionada a roca fracturada y poco alterada. Finalmente hasta los 100 m se presentan roca de mejor calidad con resistividades mayores a los 195 ohm-m. (Ver Lámina N ° 13).

Tabla N° 42. Resultados línea de tomografía geoelectrica LTG-7

Tipo de material	Profundidad (m)	Resistividad Ohm-m	Descripción de los Materiales	Condición
1	0,00 – 20,0	67 - 80	Suelos blandos arcillas y limos,	Saturada
2	0,00 – 35,0	80 - 110	Morrenas, Roca muy fracturada, alterada de mala calidad.	Parcialmente saturada
3	0,00 – 70,0	110 - 195	Roca fracturada y alterada, roca de regular calidad	Húmeda Poco húmeda
4	0,00 – 150,0	195 - 315	Roca de mejor calidad	Poco húmeda

Fuente: Elaboración Propia

#### **6.1.3.8 Línea de tomografía geoelectrica LTG-8**

La línea de tomografía geoelectrica LTG-8 de 1 000 m de longitud, se ejecutó en la quebrada que se ubica en la margen izquierda de la quebrada Chingará.

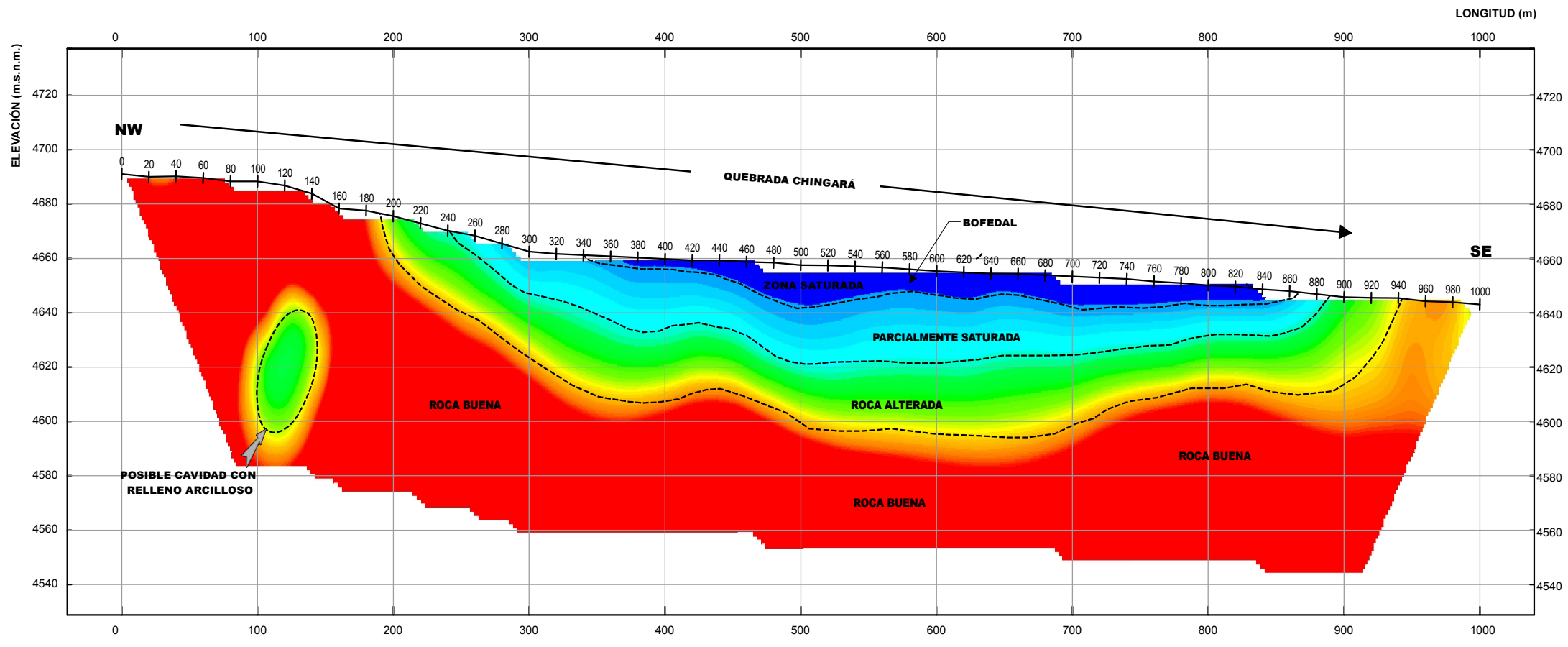
Superficialmente se presenta materiales con resistividades entre 67 y 80 ohm-m, con un espesor promedio de 15 m, relacionado al depósito bofedal. Seguidamente hasta los 30 m se encuentra roca fracturada alterada y parcialmente saturada, con resistividades hasta los 110 ohm-m. Luego hasta los 65 m se presenta materiales con resistividades de 110 a 195 ohm-m, relacionada a roca fracturada y poco alterada. Finalmente hasta los 100 m se presentan roca de mejor calidad con resistividades mayores a los 195 ohm-m. (Ver Lámina N ° 13).

Tabla N° 43. Resultados línea de tomografía geoelectrica LTG-8

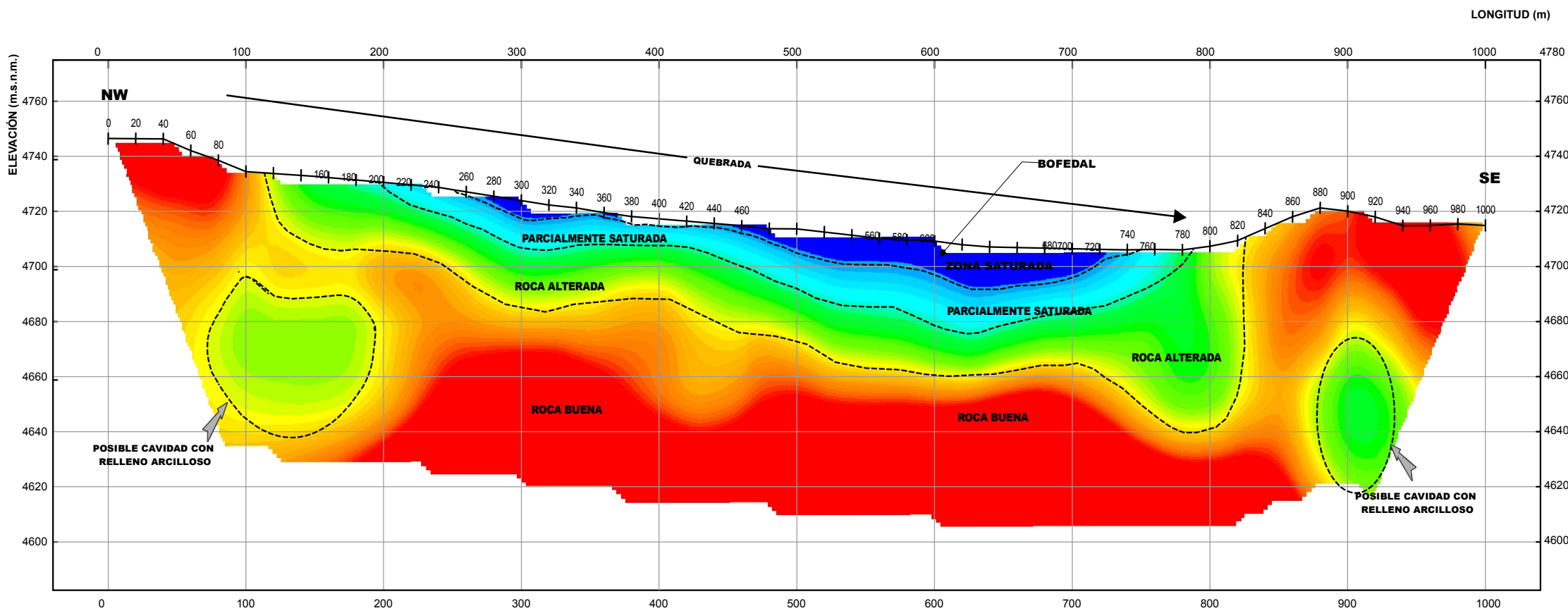
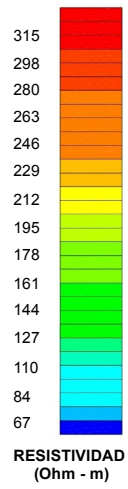
Tipo de material	Profundidad (m)	Resistividad Ohm-m	Descripción de los Materiales	Condición
1	0,00 – 15,0	67 - 80	Suelos blandos arcillas y limos,	Saturada
2	0,00 – 30,0	80 - 110	Morrenas, Roca muy fracturada, alterada de mala calidad.	Parcialmente saturada
3	0,00 – 65,0	110 - 195	Roca fracturada y alterada, roca de regular calidad	Húmeda Poco húmeda
4	0,00 – 150,0	195 - 315	Roca de mejor calidad	Poco húmeda

Fuente: Elaboración Propia

Es importante mencionar, que el programa de investigaciones geofísicas se ejecutó en los meses de enero y febrero (temporada de lluvias), por consiguiente se tiene como resultados en las secciones de tomografía geoeléctrica a los estratos superiores saturados a parcialmente saturados; esta condición se presenta únicamente en la época húmeda, descendiendo los grados de saturación en la época de estiaje.



**SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG - 7**  
ESCALA 1 / 4 000



**SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG - 8**  
ESCALA 1 / 4 000

--- CONTACTO GEOELECTRICO




UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO: **SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA GEOLÉCTRICA LTG-7 Y LTG-8**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File:	LAMINA N° 13
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:4000	N° Plano	
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 13	Rev. M.D.L.T.

Fuente: Geoservice Ingeniería S.A.C.



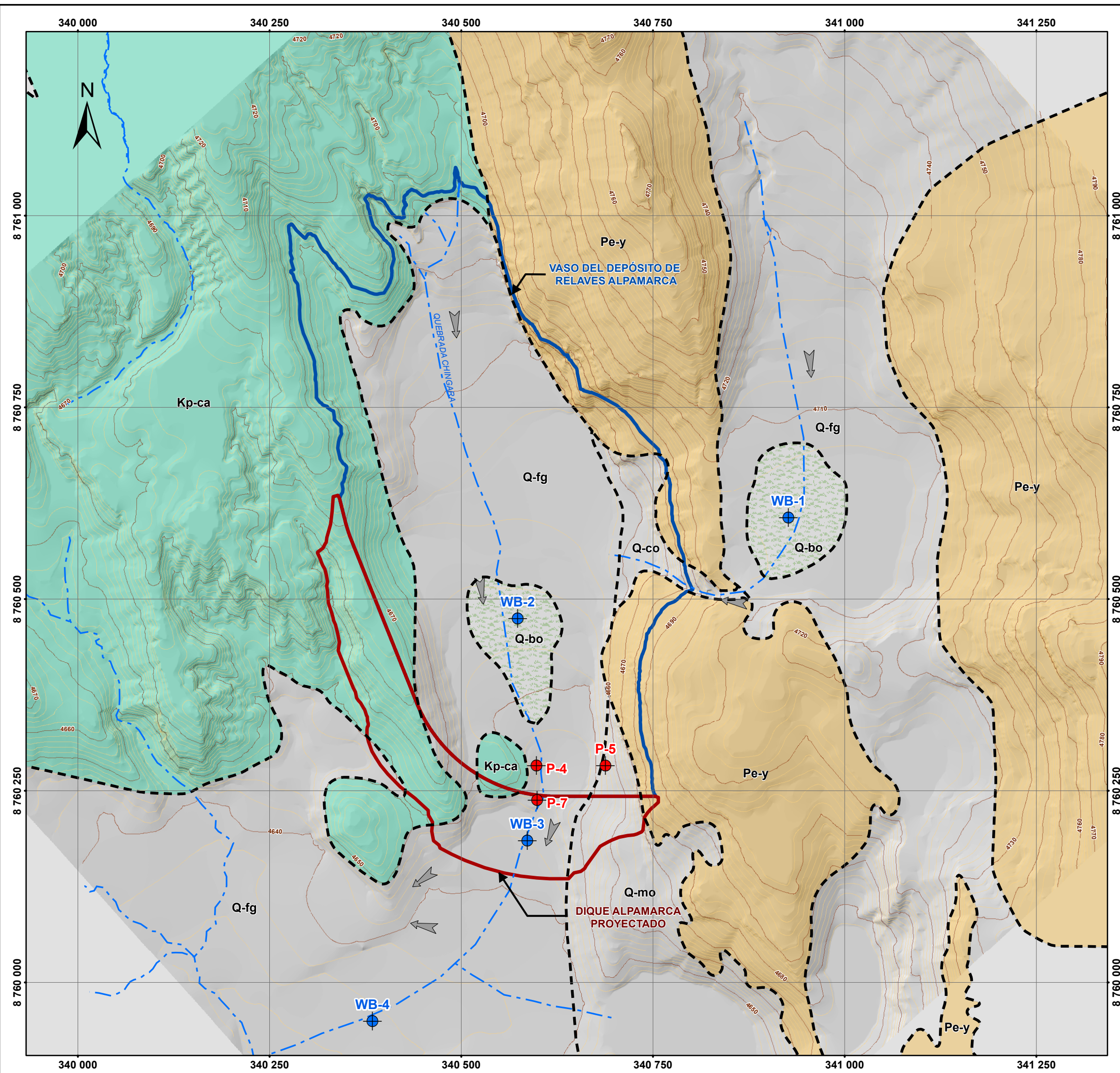
#### 6.1.4 Instalación de piezómetros hidráulicos

Con la finalidad de conocer los niveles freáticos existentes en la zona de estudio, se han instalado 7 piezómetros hidráulicos abiertos Tipo Casagrande, los cuales se presentan en el Tabla N° 44 y en la lámina N° 14.

Tabla N° 44. Instalación de piezómetros hidráulicos

Nro.	Piezómetro	Coordenadas		Cota de terreno (msnm)	Profundidad de Instalación (m)
		Norte	Este		
1	P-4	8 760 283	340 598	4 646	20,00
2	P-5	8 760 283	340 688	4 653	35,20
3	P-7	8 760 238	340 599	4 644	15,00
4	WB-1	8 760 606	340 927	4 706	10,00
5	WB-2	8 760 475	340 574	4 652	22,40
6	WB-3	8 760 185	340 586	4 641	6,45
7	WB-4	8 760 950	340 384	4 635	10,45

Fuente: Elaboración propia



**PIEZOMETROS INSTALADOS (CUADRO DE COORDENADAS)**

Nro.	PIEZÓMETRO	WGS 84 ZONA 18 S		PROFUNDIDAD (m)
		ESTE (m)	NORTE (m)	
1	P-4	340 598	8 760 283	20,00
2	P-5	340 688	8 760 283	35,20
3	P-7	340 599	8 760 238	15,00
4	WB-1	340 927	8 760 606	10,00
5	WB-2	340 574	8 760 475	22,40
6	WB-3	340 586	8 760 185	6,45
7	WB-4	340 384	8 759 950	10,45

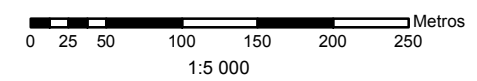
**LEYENDA GEOLÓGICA**

SISTEMA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SIMBOLO
CUATERNARIO	Fluvioglaciares	Q-fg
	Bofedal	Q-bo
	Morrena	Q-mo
PALEOGENO	Yantac	Pe-y
CRETÁCEO	Casapalca	Kp-ca

**LEYENDA**

- PIEZÓMETRO INSTALADO EN PERFORACIÓN DIAMANTINA
- PIEZÓMETRO INSTALADO EN PERFORACIÓN WASH BORING
- QUEBRADA
- CONTACTO GEOLÓGICO
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
- DIQUE ALPAMARCA PROYECTADO
- VASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES ALPAMARCA

**Escala Gráfica**



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO:  
**PLANO DE UBICACIÓN DE PIEZÓMETROS INSTALADOS**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File	LAMINA N° 14	Rev.	
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:5 000	N° Plano			
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015		LAMINA N° 14	M.D.L.T.	

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000.  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.  
 -Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.  
 -Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET.



## 6.2 Inventario de fuentes de agua superficial y subterránea

Durante los trabajos de campo, se ha realizado un inventario de fuentes de agua que se encuentran en el entorno de la zona del proyecto.

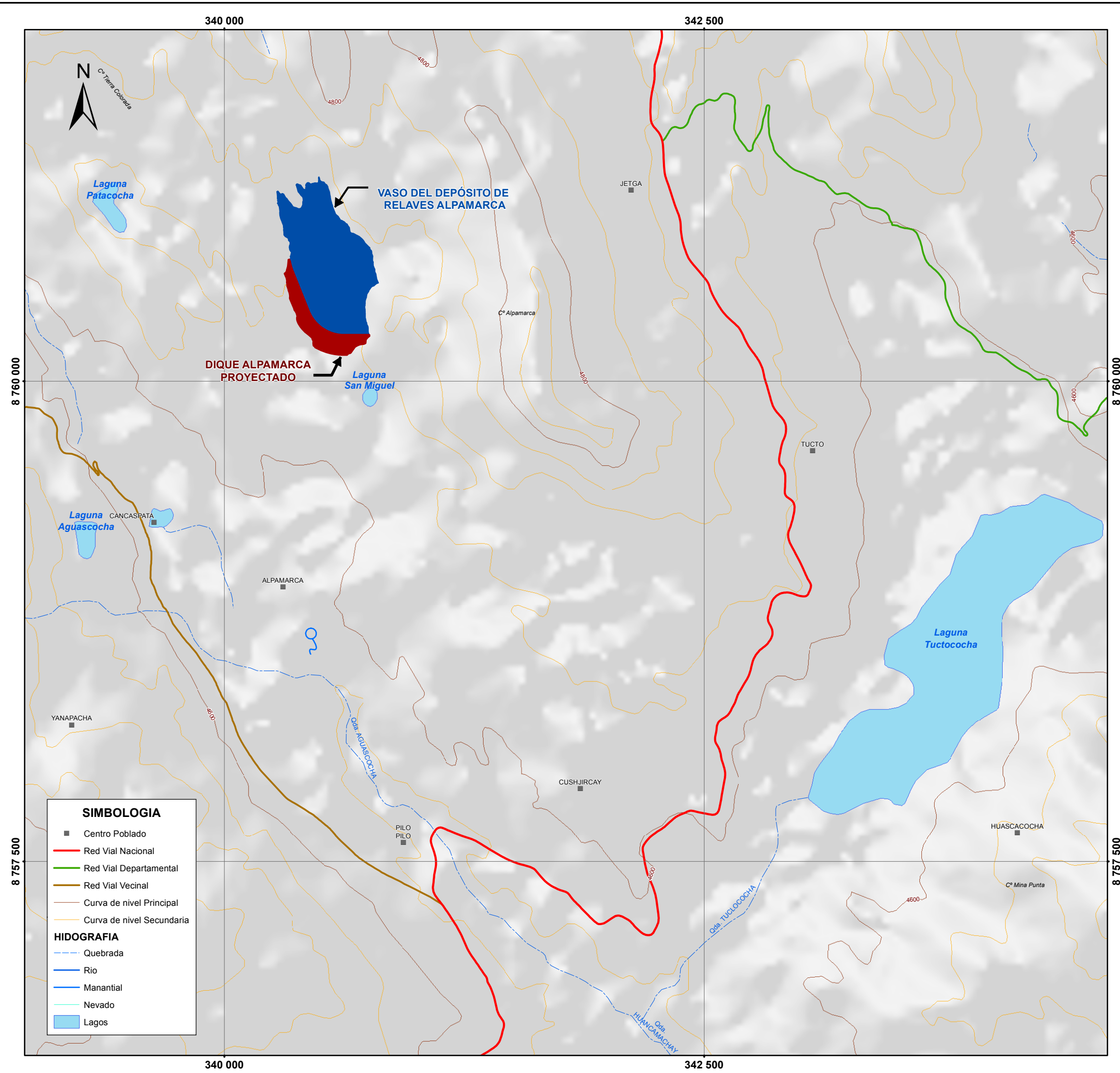
### 6.2.1 Fuentes de aguas superficiales

En el Tabla N° 45, se muestran las fuentes de agua superficiales inventariadas en la zona de estudio. Ninguna de las lagunas tiene influencia directa a las obras proyectadas. Ver Lámina N° 15.

Tabla N° 45. Inventario de fuentes de agua

Fuente de Agua	Coordenadas		Cota (msnm)	Área (m <sup>2</sup> )
	Este	Norte		
Laguna Patacocha	339 618	8 761 303	4 665	37 935
Laguna San Miguel	341 041	8 760 244	4 645	34 653
Laguna Aguascocha	339 959	8 759 700	4 585	187 022
Laguna Tuctococha	343 876	8 758 709	4 590	1 159 780

Fuente: Elaboración propia



**INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL**

FUENTE DE AGUA	WGS 84 ZONA 18 S		COTA (m.s.n.m.)	ÁREA (m2)
	ESTE (m)	NORTE (m)		
Laguna Patacocha	339 618	8 761 303	4 665	37 935
Laguna San Miguel	341 041	8 760 244	4 645	34 653
Laguna Aguascocha	339 959	8 759 700	4 585	187 022
Laguna Tuctochocha	343 876	8 758 709	4 590	1 159 780

**INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA**

FUENTE DE AGUA	WGS 84 ZONA 18 S		COTA (m.s.n.m.)	Caudal estimado (l/seg)
	ESTE (m)	NORTE (m)		
Manantial N° 01	340 786	8 758 976	4 589	8



Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)  
 Datum: Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84)  
 Zona: 18 Sur

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO: <b>INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA</b>				
Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File: LAMINA N° 15
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:20 000	N° Plano: Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 15 M.D.L.T.
Fuente: -Geoservice Ingeniería S.A.C. -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. -Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.				



- **Laguna Patacocha**

La Laguna Patacocha se ubica al Nor Oeste de la mina Alpamarca, a una cota de 4 665,10 msnm con una extensión de 37 935,93 m<sup>2</sup>. Esta laguna es permanente en el área de estudio, aumentando su volumen en época en lluvias debido a las precipitaciones pluviales y la escorrentía superficial producto de las mismas; asimismo aguas arriba de la laguna Patacocha se ubica una zona de bofedales, los que alimentan con cursos de agua el volumen de dicha laguna.

- **Laguna San Miguel**

La laguna San Miguel se ubica al Oeste del Botadero Nito, a una cota de 4 645,40 msnm con una extensión de 34 653,05 m<sup>2</sup>. Esta laguna es permanente en el área de estudio, y es alimentada por el efluente de la bocamina del nivel 300, el cual aporta aguas provenientes de la zona de bofedales ubicada en la margen izquierda del área proyectada para el depósito de relaves de la mina Alpamarca, las que son conducidas por medio de un pique ubicado al pie de la quebrada; estos flujos tienen un incremento en la época de lluvias.

- **Laguna Aguascocha**

La laguna Aguascocha se ubica al Nor Oeste del antiguo depósito de relaves de Mina Alpamarca, a una cota de 4 585,60 msnm con una extensión de 187 022,98 m<sup>2</sup>. Esta laguna es permanente en el área de estudio, teniendo como afluentes las aguas provenientes de la zona de bofedales ubicadas al Norte de la laguna.

- **Laguna Tuctococha**

La laguna Tuctococha se ubica al Sur Este de la mina Alpamarca, a una cota de 4 590 msnm con una extensión de 1 159 780,60 m<sup>2</sup>. Esta laguna es permanente en la zona de estudio, sus afluentes y efluentes son considerados cursos de agua fuera del área involucrada del proyecto.

## 6.2.2 Fuentes de aguas subterráneas

En el área de estudio se han inventariado 1 manantial. Este manantial se ubica fuera del área de influencia de la quebrada Chingará donde se emplazará el nuevo depósito de relaves Alpamarca. En la quebrada Chingará se han identificado afloramientos de agua relacionados a agua de retorno, no considerándolos como manantiales. Ver Lámina N° 15.

Tabla N° 46. **Inventario de manantiales**

<b>Manantial</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Cota (msnm)</b>	<b>Caudal estimado (l/seg)</b>
	<b>Este</b>	<b>Norte</b>		
Manantial N° 01	340 786	8 758 976	4 589	8

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPITULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **7.1 El acuífero**

En base a la evaluación realizada, se ha definido que en la quebrada Chingará existe un acuífero libre, cuyo techo de la napa freática es muy próximo a la superficie. El acuífero se desarrolla en material cuaternario fluvio-glacial y bofedal (gravas y arenas en matriz limo arcilloso). Este acuífero es alimentado por los aportes de las 2 microcuencas ubicadas al Norte y Este de la quebrada, así como la recarga producto de la precipitación que ocurre en la época húmeda. En base a las investigaciones ejecutadas, se estima que el espesor de este acuífero es del orden de 15,00 m a 20,00 m. Subyaciendo se presenta capas de arcillas que limitan el flujo de agua subterránea, y seguidamente se encuentra roca fracturada, cuyas condiciones mejoran a profundidad.

## **7.2 La Napa freática**

Para evaluar el comportamiento de la napa freática, se ha considerado la información de monitoreo de los registros de niveles piezométricos en los piezómetros instalados en un periodo de 1 año. Este monitoreo estuvo a cargo del departamento de Medio Ambiente de la compañía minera.

### **7.2.1 Profundidad de la napa freática**

La profundidad de la napa se ha evaluado en base al monitoreo efectuado en 1 año. De acuerdo al análisis, los niveles de agua en la quebrada Chingará, se encuentran desde los 0,00 a 8,40 m de profundidad, cuyo resumen se encuentra en el Tabla N° 47.

Tabla N° 47. Monitoreo de niveles freáticos

Piezómetro	Nivel Freático (m)											
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
P-4	0,15	0,18	0,20	0,20	0,28	0,35	0,35	0,30	0,20	0,15	0,10	0,10
P-5	8,15	8,20	8,22	8,25	8,25	8,30	8,35	8,40	8,40	8,20	8,15	8,10
P-7	0,18	0,15	0,25	0,25	0,30	0,35	0,35	0,35	0,30	0,22	0,15	0,10
WB-1	0,05	0,10	0,15	0,18	0,15	0,15	0,20	0,30	0,20	0,15	0,10	0,05
WB-2	0,03	0,08	0,10	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,20	0,18	0,10	0,00
WB-3	0,10	0,10	0,15	0,18	0,20	0,25	0,25	0,35	0,25	0,16	0,10	0,00
WB-4	0,20	0,20	0,25	0,30	0,30	0,35	0,40	0,45	0,45	0,30	0,15	0,15

Fuente: Departamento de Medio Ambiente de Compañía Minera Alpamarca S.A.C.

### **7.2.2 Fluctuación de la napa freática**

El análisis de la fluctuación de los niveles piezométricos, a través del tiempo, se efectúa en base a los registros históricos de los piezómetros instalados. Con las mediciones periódicas de los niveles piezométricos (que incluyen época seca y húmeda), se evalúa las fluctuaciones correspondientes (niveles máximos y mínimos), a través de la elaboración de los histogramas de los piezómetros correspondientes.

En el Tabla N° 47, se muestra el monitoreo de los piezómetros instalados.

A continuación se presenta el análisis de fluctuación de la napa freática para los piezómetros instalados, así como los histogramas realizados.

- **Piezómetro P-4**

El piezómetro P-4, ubicado en el eje de la quebrada Chingará, registra la mayor profundidad del nivel freático (0,35 m) en los meses de agosto y setiembre del año, y el menor en los meses de enero y febrero (0,10 m), tal como se observa en el histograma de la Figura N° 21. Se considera que la fluctuación en este piezómetro es regular, y está influenciada por las precipitaciones pluviales en la época húmeda.

- **Piezómetro P-7**

El piezómetro P-7, que se ubica en el eje de la quebrada Chingará, aguas abajo del piezómetro P-4, registró la mayor profundidad del nivel freático en agosto, setiembre y octubre con 0,35 m, y la menor profundidad en febrero, con 0,10 m tal como se muestra en el histograma de la Figura N° 21. Se considera que la fluctuación en este piezómetro es regular, y está influenciada por las precipitaciones pluviales en la época húmeda.

- **Piezómetro WB-1**

El piezómetro WB-1, se instaló en la quebrada adyacente a la quebrada Chingará (margen izquierda). De acuerdo al histograma que se muestra en la Figura N° 21, la mayor profundidad del nivel freático (0,30 m) se registró en octubre, mientras que la menor (0,05 m) fue registrada en febrero y marzo. Se considera que la fluctuación en este piezómetro es regular, y está influenciada por las precipitaciones pluviales en la época húmeda.

- **Piezómetro WB-2**

Este piezómetro, ubicado en el sector central de la quebrada Chingará (zona de vaso), reporta la fluctuación del nivel freático, tal como se muestra en el histograma de la Figura N° 21; la mayor profundidad del nivel freático se registró en octubre con 0,30 m, mientras que la menor en febrero, igual a 0,00 m (nivel de la superficie del terreno). La fluctuación en este pozo, está relacionada a las precipitaciones de la época húmeda.

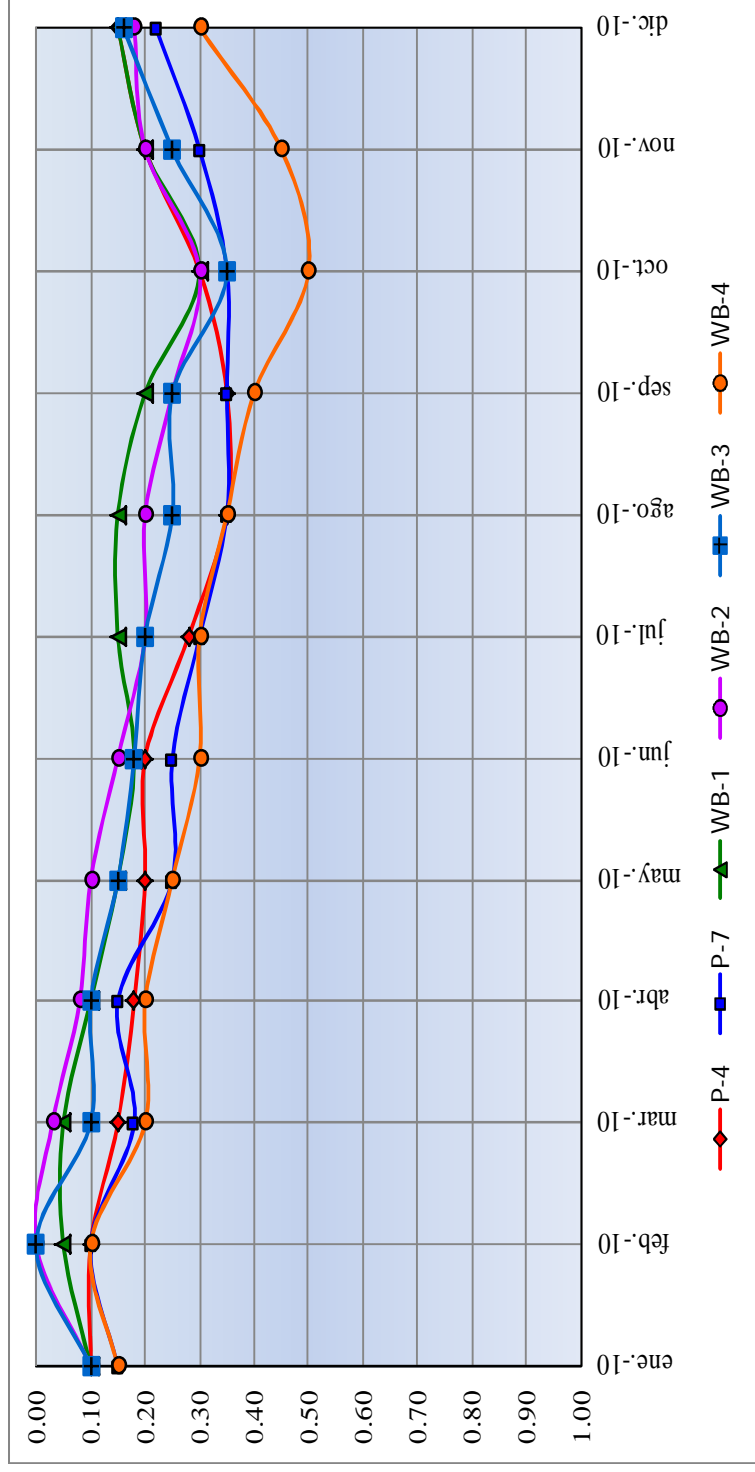
- **Piezómetro WB-3**

El piezómetro WB-3, ubicado en el sector central donde se cimentará la presa Alpamarca, reporta la mayor profundidad del nivel freático en el mes de octubre con 0,35 m; y el menor igual a 0,00 m registrado en febrero, tal como se puede observar en el histograma de la Figura N° 21. La fluctuación en este pozo, está relacionada a las precipitaciones de la época húmeda.

- **Piezómetro WB-4**

Este piezómetro, se ubica aguas abajo del sector donde se cimentará la presa Alpamarca, y de acuerdo al histograma que se muestra en la Figura N° 21, registra la mayor profundidad del nivel freático (0,50 m) en octubre, mientras el menor se registra en febrero con 0,10. La fluctuación en este pozo, está relacionada a las precipitaciones de la época húmeda.

Figura N° 21. Histograma en piezómetros instalados



Fuente: Elaboración propia

- **Piezómetro P-5**

El piezómetro P-5, que se ubica en la margen izquierda de la quebrada Chingará, registra la mayor profundidad del nivel freático (8,40 m) en los meses de octubre y noviembre, y la menor en febrero con 8,10 m tal como se muestra en el histograma de la Figura N° 22. Se considera que la fluctuación en este piezómetro es regular, y está influenciada por las precipitaciones pluviales en la época húmeda.

**Figura N° 22. Histograma piezómetro P-4**



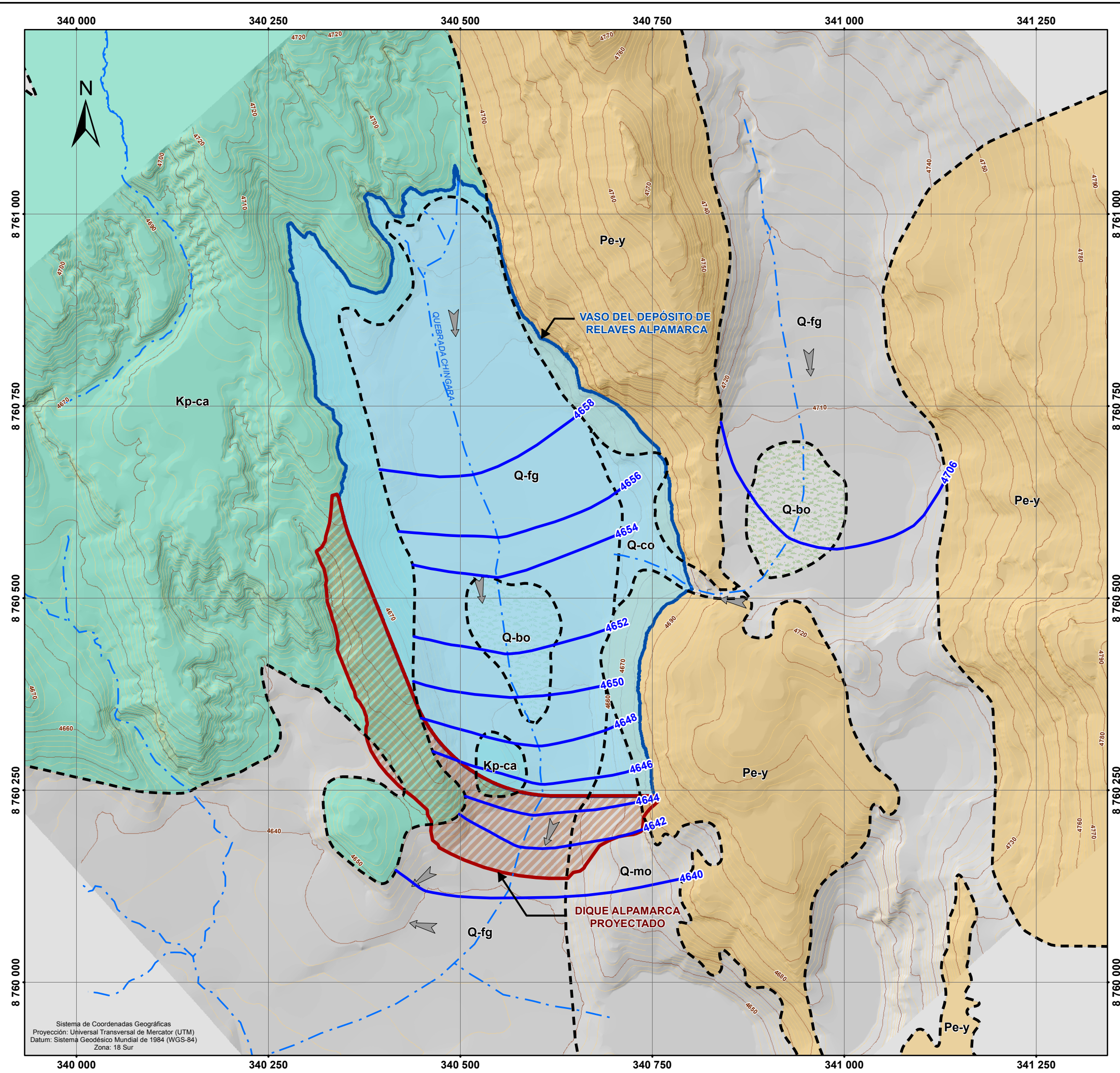
Fuente: Elaboración propia

### **7.3 Morfología del techo de la napa**

La morfología de la superficie piezométrica (napa freática, en el caso de los acuíferos libres) se evalúa mediante la elaboración de los mapas de contorno de agua, de curvas equipotenciales o hidroisohipsas, en los cuales es posible determinar la dinámica subterránea, es decir la dirección del flujo, los gradientes hidráulicos y las zonas de recarga y descarga (ver Lámina N° 16).

Se observa que la dirección principal del escurrimiento subterráneo es coincidente con la dirección del flujo superficial, es decir de NO-SE, y que las formas de las curvas se presentan con características uniformes y regulares, y el perfil general de la superficie piezométrica es afectado por una pendiente promedio de 1,0% en el sentido del escurrimiento superficial.

Las curvas hidroisohipsas nos muestran que se trata de una napa libre alimentada por la infiltración de las aguas de precipitación que se almacenan en la subcuenca y discurren predominantemente por el cauce del río.



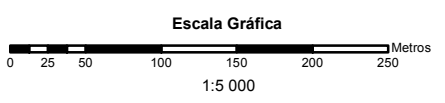
Nro.	PIEZÓMETRO	WGS 84 ZONA 18 S		PROFUNDIDAD (m)
		ESTE (m)	NORTE (m)	
1	P-4	340 598	8 760 283	20,00
2	P-5	340 688	8 760 283	35,20
3	P-7	340 599	8 760 238	15,00
4	WB-1	340 927	8 760 606	10,00
5	WB-2	340 574	8 760 475	22,40
6	WB-3	340 586	8 760 185	6,45
7	WB-4	340 384	8 759 950	10,45

**LEYENDA GEOLÓGICA**

SISTEMA	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO
CUATERNARIO	Fluvioglaciares	Q-fg
	Bofedal	Q-bo
	Morrena	Q-mo
PALEOGENO	Yantac	Pe-y
CRETÁCEO	Casapalca	Kp-ca

**LEYENDA**

- 4600 CURVA HIDROISOHIPSAS
- QUEBRADA
- CONTACTO GEOLÓGICO
- CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
- DIQUE ALPAMARCA PROYECTADO
- VASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES ALPAMARCA




**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO:  
**PLANO DE HIDROISOHIPSAS**

Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File	LAMINA N° 16	Rev.	
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:5 000	N° Plano	LAMINA N° 16	M.D.L.T.	
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015				

Fuente:  
 -Geoservice Ingeniería S.A.C.  
 -Cartografía Base del Instituto Geográfico Nacional IGN, Cartas Nacionales 1:100 000  
 -Límites Político Administrativo del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.  
 -Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.



Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)  
 Datum: Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84)  
 Zona: 18 Sur

## **7.4 Unidades hidrogeológicas**

En base al reconocimiento hidrogeológico y el resultado e interpretación del programa de investigaciones directas e indirectas, se ha podido identificar las unidades hidrogeológicas que marcan el comportamiento del flujo de las aguas subterráneas dentro del área del estudio; describiéndose fundamentalmente sus condiciones hidrogeológicas durante los sondeos exploratorios realizados.

### **7.4.1 Formación Casapalca (Kp-ca)**

Esta formación también denominada “capas rojas”, aflora en el estribo derecho de la quebrada Chingará; y está constituida por margas y lutitas rojas; los ensayos de permeabilidad ejecutados en este tipo de rocas arrojan permeabilidades del orden de  $1,72 \times 10^{-3}$  cm/s a  $7,84 \times 10^{-5}$  cm/s, siendo un rango de permeabilidad moderada a baja. Esta formación corresponde a un acuífero fracturado y fisurado.

#### **7.4.2 Formación Yantac (Pe-y)**

Esta formación aflora en el estribo izquierdo de la quebrada Chingará, y está compuesta por piroclastos, lavas e ignimbritas, medianamente fracturadas; los ensayos de permeabilidad ejecutados en esta roca arrojan permeabilidades del orden de  $7,84 \times 10^{-3}$  cm/s, teniendo un rango de permeabilidad moderado. Esta formación corresponde a un acuífero fracturado y fisurado.

#### **7.4.3 Depósitos cuaternarios**

Esta unidad hidrogeológica está conformada por los depósitos cuaternarios que tapizan la quebrada Chingará (bofedal y fluvioglaciares), conformado por suelos arcillosos, limosos y arenosos; los ensayos de permeabilidad ejecutados en estos depósitos indican permeabilidades del orden de  $7,98 \times 10^{-6}$  cm/s, siendo un rango de permeabilidad baja. Los depósitos cuaternarios corresponden al acuífero. Si bien es cierto, los rangos de permeabilidad son bajos, pero en dicho medio se desarrolla el acuífero libre.

Tabla N° 48. Permeabilidad media por unidad hidrogeológica

Unidad Hidrogeológica	Tipo de material	Permeabilidad k (cm/s)			Rangos de permeabilidad
		Mínima	Máxima	Promedio	
Formación Casapalca	Areniscas y lutitas	$7,84 \times 10^{-5}$	$8,54 \times 10^{-3}$	$1,72 \times 10^{-3}$	Moderada
Formación Yantac	Lavas e ingnimbritas	$7,10 \times 10^{-4}$	$6,67 \times 10^{-3}$	$7,84 \times 10^{-3}$	Moderada
Depósitos Cuaternarios	Arcillas, limo y arenas	$9,77 \times 10^{-6}$	$6,88 \times 10^{-6}$	$7,98 \times 10^{-6}$	Baja

Fuente: Elaboración Propia

## 7.5 Parámetros hidrogeológicos

De acuerdo al análisis realizado en el ítem 4.4, se puede indicar lo siguiente:

- Los depósitos de bofedal que tapizan la quebrada Chingará, está conformado por material arcilloso y limoso, con rangos de permeabilidad del orden de  $10^{-6}$  cm/s. Es en esta unidad en la que se desarrolla el acuífero libre.
- La roca fracturada de la formación Casapalca (capas rojas), tienen rangos de permeabilidad del orden de  $10^{-3}$  cm/s; mientras que los estratos de buenas características alcanzan permeabilidades del orden de  $10^{-5}$  cm/s. Esta formación corresponde al acuífero fracturado y fisurado.
- La formación Yantac, conformada por areniscas, arrojan permeabilidades del orden de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  cm/s. Esta formación también corresponde a un acuífero fracturado y fisurado.

## **7.6 Zonas de Recarga y descarga**

Para el caso del acuífero que se presenta en la quebrada Chingará, la recarga ocurre a partir del escurrimiento permanente de las quebradas que existen al lado Norte y Este respectivamente.

En la época húmeda (diciembre a marzo), estas quebradas conducen flujos de agua superficial producto de la precipitación pluvial, y es conducida a la zona de bofedales de la quebrada Chingará.

En base a las inspecciones de campo, también se considera otra forma de recarga a los cursos de agua provenientes del deshielo. En la época húmeda, los picos más altos de los afloramientos rocosos (tanto de la formación Casapalca como la formación Yantac), reciben precipitación nival o en forma de nieve. Durante las horas de radiación solar, se produce el deshielo, ocasionando cursos de agua superficiales que alimentan las quebradas tributarias y a la quebrada Chingará; asimismo también se produce infiltración del deshielo a través del sistema de fracturas y fisuras de los afloramiento rocosos.

La descarga del acuífero está relacionada al drenaje que ocurre de la quebrada a través de un riachuelo, el cual durante los trabajos de campo en la época húmeda, tiene un caudal aforado de 8 litros/segundo. Este riachuelo corresponde a un flujo permanente que proviene de la zona saturada de la quebrada Chingará.

También se considera como descarga del acuífero libre a la evapotranspiración que se da a través de las áreas hidromórficas o sectores de bofedales. El consumo de agua de estos ecosistemas genera una pérdida al acuífero que se va a la atmósfera.

## **7.7 Modelo geológico conceptual**

Para la definición del modelo geológico de la quebrada Chingará, se ha considerado el levantamiento geológico de campo, así como los resultados de las investigaciones geofísicas y logueo de las perforaciones diamantinas.

En la margen derecha de la quebrada Chingará, se presentan afloramientos de la formación Casapalca, conformada por capas rojas o margas, superficialmente se encuentran fracturadas y alteradas.

Realizando una correlación con las perforaciones diamantinas ejecutadas en la zona del vaso, las condiciones geológicas de la roca, mejoran a profundidad, encontrándose más compacta y menos fracturada.

En la margen izquierda, se encuentran rocas de la formación Yantac conformada por calcarenitas, las cuales superficialmente se presentan fracturadas y alteradas. Estas condiciones geológicas mejoran a profundidad, encontrándose poco fracturada y compacta.

La quebrada Chingará se encuentra tapizada por depósitos cuaternarios recientes como morrenas, bofedales y fluvio-glaciares. Las morrenas, ubicadas en la margen izquierda de la quebrada, están constituidas por gravas y arenas en matriz limo arcillosa, con presencia de cantos subangulosos; los depósitos de bofedal, que se encuentran en la parte de baja pendiente e inundable, están constituidos por material fino (limos y arcillas), saturado con presencia de material orgánico, el espesor de estos depósitos varía hasta los 15 metros. Finalmente los depósitos fluvio-glaciares se encuentran en gran extensión cubriendo la quebrada, conformados por arenas con contenido de limos y arcillas, cubiertos por vegetación del tipo ichu.

En base a los registros de perforación, subyaciendo a los depósitos de bofedal y fluvioglaciares, existe una capa de gravas arcillosas, de una potencia de 5,00 metros aproximadamente.

### **7.8 Modelo hidrogeológico conceptual**

El modelo hidrogeológico conceptual es la caracterización general de las condiciones básicas del estado actual y del funcionamiento dinámico de las aguas subterráneas en un área determinada, y su relación con los demás componentes del ciclo hidrológico.

El desarrollo de un modelo hidrogeológico conceptual del sistema de las aguas subterráneas, tiene como objetivo identificar las características hidrogeológicas más importantes. Analiza e interpreta la información geológica, geofísica, hidrológica, hidráulica e inventario de fuentes de agua, que permiten tener una visión general del comportamiento del acuífero en el área en estudio.

En base a los resultados de las investigaciones ejecutadas en la zona del proyecto, las perforaciones diamantinas P-1 (25,00 m), P-2 (30,30 m), P-3 (30,40 m), P-4 (20,00 m), P-6 (10,00 m) y P-7 (15,00 m)

ejecutadas en el sector central y margen derecha donde se construirá el dique Alpamarca, han atravesado estratos rocosos de la formación Casapalca compuesta de lutitas, la cual se encuentran moderadamente fracturadas y alteradas. Los rangos de permeabilidad de esta roca son del orden de  $k=10^{-3}$  a  $10^{-5}$  cm/seg. Correlacionando las líneas de tomografía geoelectrica que atraviesan estas perforaciones diamantinas, tanto la línea de tomografía LTG-01, LTG-02 y LTG-07, se puede indicar que aproximadamente hasta los 10.00 m de profundidad, la roca se encuentra fracturada y alterada, con resistividades menores a los 200 ohm-m. Seguidamente se encuentra roca con mejores condiciones de resistencia y poco fracturada, con resistividades mayores a 200 ohm-m. De este conjunto de perforaciones diamantinas, se instaló piezómetros en las perforaciones P-4 y P-7 ubicados en el eje del dique proyectado. El monitoreo de estos piezómetros, indica que la fluctuación del nivel freático varía de 0,10 a 0,35 m de profundidad, siendo su variación debido a la época húmeda y época seca respectivamente.

En la margen izquierda del dique Alpamarca proyectado, se ejecutó la perforación diamantina P-5 de 35,20 m de profundidad, la cual atravesó a la formación Yantac, compuesta por areniscas. De acuerdo a los registros de perforación, la roca se encuentra moderadamente fracturada,

con rangos de permeabilidad del orden de  $k= 10^{-3}$  a  $10^{-4}$  cm/seg. En esta perforación diamantina se instaló un piezómetro hidráulico para su monitoreo, obteniéndose un nivel freático que varía de 8,10 a 8,40 m; siendo valores que están relacionados a la época húmeda y época seca respectivamente.

Complementando al programa de perforaciones diamantinas, se ejecutaron 4 perforaciones Wash Boring en los sectores donde se presentan bofedales y/o suelos blandos. En la quebrada ubicada al Este de la quebrada Chingará, se ejecutó 1 perforación Wash Boring, denominada WB-1 de 8,00 m de profundidad. El material atravesado corresponde a arcillas gravosas saturadas, con rangos de permeabilidad del orden de  $k=10^{-5}$  a  $10^{-6}$  cm/seg. En esta perforación se instaló un piezómetro hidráulico, encontrándose niveles freáticos cercanos a la superficie, oscilando de 0,05 a 0,30 m de profundidad. Las líneas de tomografía geoeléctrica ejecutadas en dicho sector son las líneas LTG-4 y LTG-08, las cuales atraviesan la perforación Wash Boring WB-1. Los resultados de estas líneas de tomografía geoeléctrica, se correlacionan con las lecturas del nivel freático en dicho sector, indicando que se encuentra en el eje de la quebrada y sector central, un estrato superficialmente saturado con una potencia promedio de 20,00 m con

resistividades menores a los 100 ohm-m. Este sector corresponde al depósito de bofedales ubicados en dicha quebrada.

En la quebrada Chingará se ejecutaron 3 perforaciones Wash Boring. Una perforación se ejecutó en el sector del vaso de la relavera proyectada, denominada WB-2 de 22,40 m de profundidad. En esta perforación se atravesó material fino, conformado por limos arcillosos y arcillas, con rangos de permeabilidad del orden de  $k=10^{-5}$  a  $10^{-6}$  cm/seg. El nivel freático en la época húmeda coincide con el nivel del terreno, y en la época seca, desciende hasta los 0,30 m. Esta perforación ha sido atravesada por 2 líneas de tomografía geoeléctrica, LTG-03 y LTG-07, las cuales reportan que en el sector donde se ejecutó la perforación Wash Boring WB-02, existe un estrato saturado a parcialmente saturado con una potencia aproximada entre 15,00 de 20,00 m con resistividades menores a 127 ohm-m.

La perforación Wash Boring WB-3 de 6,45 m de profundidad, se ejecutó en el sector donde se construirá el dique Alpamarca, esta perforación atravesó arcillas gravosas saturadas, con rangos de permeabilidad del orden de  $k=10^{-5}$  a  $10^{-6}$  cm/seg. Los niveles freáticos que

reporta el piezómetro instalado en esta perforación, oscilan de 0,00 a 0,35 m de profundidad.

Aguas abajo del sector del dique Alpamarca proyectado, se ejecutó la perforación Wash Boring WB-04 de 10,45 m de profundidad, atravesando arcillas y arcillas gravosas, con rangos de permeabilidad de  $k=10^{-5}$  a  $10^{-6}$  cm/seg. En esta perforación se instaló un piezómetro hidráulico, el cual reporta niveles freáticos que oscilan entre 0,15 a 0,45 m de profundidad.

En base a la interpretación de toda la información recopilada de las investigaciones de campo e inspección geológica hidrogeológica, se puede indicar que desde el punto de vista hidrogeológico; el sector donde se emplazará el nuevo depósito de relaves, está conformado básicamente por 4 estratos.

El primer estrato pertenece al depósito bofedal, conformado por material fino (limos y arcillas) con presencia de materia orgánica. Este depósito puede alcanzar en algunos sectores, de 15,00 a 20,00 m de potencia, se caracteriza por encontrarse saturado, y de acuerdo a los ensayos ejecutados, presentan bajos rangos de permeabilidad ( $k=10^{-6}$

cm/seg). Subyaciendo al bofedal se encuentra una capa de baja permeabilidad, correspondiente a arcillas. Esta capa de comporta como la base del acuífero libre.

Subyaciendo se encuentra hasta los 30,00 m aproximadamente, roca fracturada, alterada y parcialmente saturada; los rangos de permeabilidad para esta roca es del orden de  $k=10^{-3}$  a  $10^{-4}$  cm/seg, pudiendo existir sectores de roca de mejor calidad con rangos de  $k=10^{-6}$  cm/seg. Este medio corresponde a un acuífero fracturado y fisurado.

Seguidamente, y en base a la interpretación de las investigaciones geofísicas, hasta los 65,00 m aproximadamente, se presenta, roca de mejor calidad, poco fracturada y con resistividades mayores a los 200 ohm-m.

Finalmente se presenta el basamento rocoso, compacto y de baja conductividad hidráulica, con resistividades mayores a 300 ohm-m.

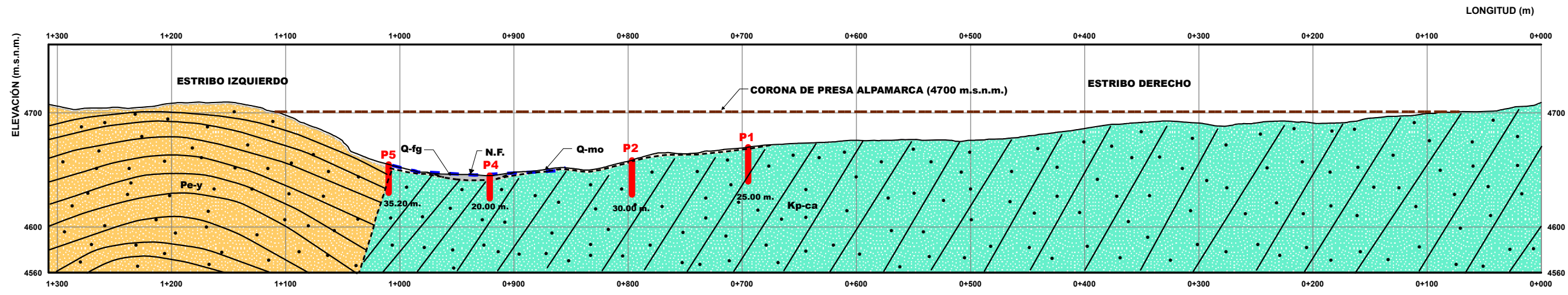
La recarga del acuífero presente en la quebrada Chingará, está relacionada directamente a la precipitación en la época húmeda (meses diciembre, enero, febrero y marzo). De acuerdo al análisis hidrológico,

existe una precipitación en el sector del depósito de relaves del orden de 965,6 a 998,3 mm/año. También existe recarga a través del aporte de las quebradas que se ubican al norte y este, así como por efectos del deshielo desde los picos más altos de los afloramientos rocosos de la formación Casapalca y Yantac.

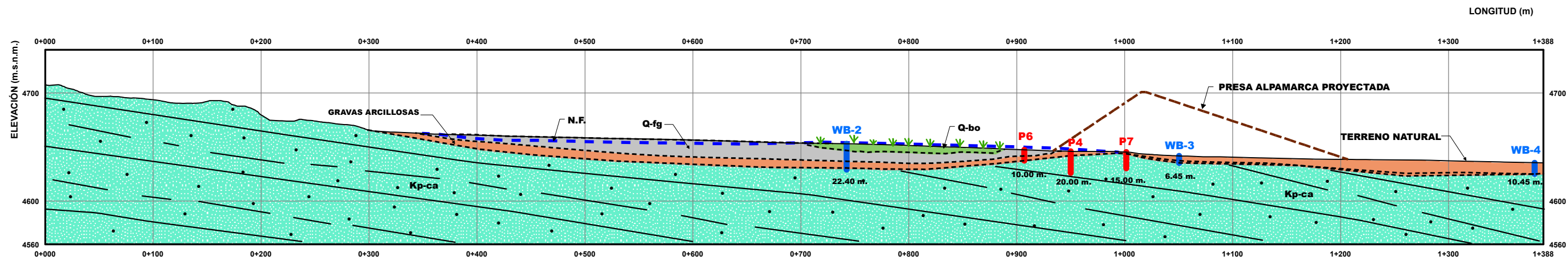
De acuerdo al balance hídrico, la infiltración que se produce en el área del acuífero libre es del orden de 8,07 l/seg; 9,21 l/seg y 8,42 l/seg para los años evaluados seco, húmedo y promedio respectivamente.

En la zona de estudio, y de acuerdo a las líneas hidroisohipsas, se muestran que los niveles de agua subterráneos se encuentran muy próximos a la superficie, considerando niveles freáticos superficiales o acuífero libre. Estos niveles de agua subterránea se desarrollan en suelos cuaternarios y se encuentran solamente hasta la capa arcillosa. Esta capa de arcilla corresponden a suelos residuales y subyaciendo se encuentra las formaciones rocosas. En las formaciones rocosas el flujo de agua subterráneo es limitado, y sólo se produce a través del sistema de fracturas y fisuras de la roca.

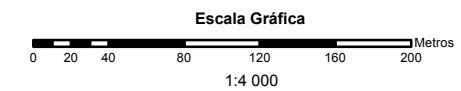
En general la red de flujos de agua subterránea tienen su origen en la zona Norte, y su dirección principal del escurrimiento subterráneo es coincidente con la dirección del flujo superficial, es decir de NO-SE, el cual coincide con el eje del riachuelo existente.



SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA CONCEPTUAL 1-1'  
Escala 1:4000



SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA CONCEPTUAL 2-2'  
Escala 1:4000



SIMBOLOGIA	
	N.F. (NIVEL FREÁTICO)
	FALLA INFERIDA
	CONTACTO GEOLÓGICO
	PIEZÓMETRO INSTALADO EN PERFORACIÓN DIAMANTINA
	PIEZÓMETRO INSTALADO EN PERFORACIÓN WASH BORING

**LEYENDA GEOLÓGICA**

SISTEMA	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	SIMBOLO
CUATERNARIO	Fluvioglaciares	Q-fg
	Bofedal	Q-bo
	Morrena	Q-mo
PALEOGENO	Yantac	Pe-y
CRETÁCEO	Casapalca	Kp-ca

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNICA

TESIS:  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA MINA ALPAMARCA, YAULI - JUNIN**

TÍTULO DEL PLANO: SECCIONES HIDROGEOLÓGICAS CONCEPTUALES 1 - 1' Y 2 - 2'				
Diseño:	W.V.A.	Aprobó:	E.P.V.	File LAMINA N° 17
Dibujó:	W.V.A.	Escala:	1:4 000	N° Plano Rev.
Revisó:	C.A.B.	Fecha:	NOV. 2015	LAMINA N° 17 M.D.L.T.

Fuente: --Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET.

## **CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **8.1 Conclusiones**

- ✓ En base al programa de investigaciones efectuadas en la zona de estudio, se ha logrado caracterizar las condiciones hidrogeológicas que se presentan en la quebrada Chingará. En este sector existe un acuífero libre con una potencia variable de aproximadamente 15 metros. Este acuífero se desarrolla en depósitos cuaternarios del tipo bofedal. Subyaciendo se encuentra una capa de baja conductividad hidráulica conformada por arcillas, siendo la base de baja conductividad del acuífero. Subyaciendo hasta los 30 metros aproximadamente, se presenta roca fracturada y fisurada, correspondiente a un acuífero fracturado y fisurado. Por debajo de este estrato se encuentra roca poco fracturada y compacta.
  
- ✓ En base a la medición de los piezómetros hidráulicos instalados en la quebrada Chingará, el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie, alcanzando los 0,50 m. Este monitoreo se realizó en un periodo de un año.

- ✓ En base a la evaluación de los resultados de los ensayos de permeabilidad ejecutados en las perforaciones diamantinas, las características hidráulicas del material cuaternario (bofedal) están en el orden de  $10^{-6}$  cm/seg. La formación Casapalca varía de  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  cm/seg, y finalmente la formación Yantac en promedio de  $10^{-3}$  cm/seg.
  
- ✓ El análisis e interpretación de resultados considera que el sector donde se encuentra el bofedal corresponde al acuífero libre, mientras que para los estratos de roca fracturada y fisurada está relacionada a un acuífero fracturado y fisurado.
  
- ✓ La recarga al acuífero es principalmente a través de la infiltración producto de la precipitación pluvial. El rango de infiltración es del orden de 8,07 a 9,21 l/seg. La descarga se manifiesta a través del riachuelo que de acuerdo al aforo realizado, es del orden 8 l/seg.
  
- ✓ La geometría del acuífero libre corresponde al sector donde se presenta los depósitos cuaternarios, especialmente el depósito bofedal, teniendo como límite inferior a la capa de gravas

arcillosas y al basamento rocoso. Como límite lateral del acuífero, en la margen derecha corresponde a la formación Casapalca, mientras que en la margen izquierda a la formación Yantac respectivamente.

- ✓ La dirección principal del escurrimiento subterráneo es coincidente con la dirección del flujo superficial, es decir de NO-SE. Las curvas hidroisohipsas muestran que se trata de una napa libre alimentada por la infiltración de las aguas de precipitación que se almacenan en la subcuenca y discurren predominantemente por el cauce del riachuelo.
  
- ✓ La construcción del nuevo depósito de relaves Alpamarca, modificará y/o alterará las condiciones hidrogeológicas iniciales de la quebrada Chingará. La construcción de la presa interrumpirá el cauce natural, y por consiguiente habrá una reducción considerable en el caudal de salida de esta quebrada.

## 8.2 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda la construcción de obras hidráulicas como canales de coronación en ambos márgenes de la quebrada Chingará, los cuales controlarán el ingreso de flujos de agua superficial al sector del vaso y presa.
  
- ✓ Considerando que en el sector de cimentación de la presa, existe depósitos bofedal, estos deben ser retirados hasta encontrar un material competente no saturado y/o roca competente. En este sector se recomienda la construcción de una estructura tipo dentellón de material de baja permeabilidad, a fin de controlar los posibles flujos de infiltración provenientes del vaso del depósito de relaves, y su conexión con el acuífero existente aguas abajo del eje de la presa proyectada.
  
- ✓ De acuerdo a los valores de permeabilidad, se recomienda la implementación de sistemas de impermeabilización en el sector del vaso, que eviten la infiltración de aguas de relave

al acuífero superficial, y la posible conexión aguas debajo de la presa.

- ✓ Implementar, a través del departamento de medio ambiente de la compañía minera, un monitoreo mensual de niveles freáticos en los piezómetros instalados, a fin de conocer el comportamiento de las aguas subterráneas en las diferentes épocas del año y su fluctuación.
- ✓ Implementar un monitoreo hidroquímico trimestral en los piezómetros instalados a fin de conocer la variación de la calidad de agua subterránea, y su relación con aguas de contacto (relave). Este monitoreo debe considerar puntos de muestreo aguas abajo del nuevo depósito de relaves.
- ✓ La instrumentación mediante piezómetros hidráulicos debe, en la medida de lo posible, conservarse durante la etapa de construcción del depósito. Esta red debe ser complementada con mayor número de piezómetros durante la operación del depósito de relaves.

## CAPITULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arce J. (2005). *Potencial geofísico exploratorio de los acuíferos terciarios regionales del Perú*. Geofísicos SRL.
- Balvín, D. (2004). *Agua, minería y contaminación*. Asociación Civil Labor, Lima, Perú.
- Barker, (1989). *Geophysical framework of the Continental United States*.
- Benítez A. (1972). "*Captación de Aguas Subterráneas*", Dossat, 619 Pages. Madrid-España.
- Bellido, E. y Guevara, C. (1963). *Carta Geológica Nacional*. Lima, Perú.
- Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea "*Hidrogeología, Conceptos Básicos de Hidrología Subterránea*", Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 768 páginas, Barcelona-España (2009).
- Chen, F. W. & Liew, J. Y. R. (2003). "*The Civil Engineering Handbook*".CRC PRESS LLC, 2904 Pages.Boca Raton, Florida 33431, USA.
- Davis S.N. & De Wiest R. (1971) "*Hydrogeology*",Editions Ariel, 563 Pages. Barcelona-España.

Delleur, Jacques W. (1999). *"The Handbook of Groundwater Engineering"*.CRC PRESS LLC, 992 Pages. Boca Raton, FL 33431. USA.

Fernández, M. A. (2004). *"Estudio y Modelización de la Contaminación del Acuífero del Río Najerilla"*. Tesis Doctoral. 481 Páginas. Departamento de Química. Universidad de La Rioja. España.

Foster, S. &Hirata, R. & Gomes, D. &D'Elia, M. & París, M. (2002).*"Protección de la Calidad del Agua Subterránea"*. Groundwater Management AdvisoryTeam. Banco Mundial, Washington DC.

Gonzáles de Vallejo L.(2002), *Ingeniería Geológica*.

Hidroenergía Consultores en Ingeniería SRL. (2008). *"Estudio Hidrogeológico del Depósito de Relaves Quilacocha y Desmontes Excelsior"*. Lima.

HGS PERU S.A., R. Juárez. (2009).*"Estudio Hidrogeológico de la Mina Quicay"*. Lima.

Heath, R. (1987) *"Basic Ground-Water Hydrology"*. 88 Pages.U.S. Geological Survey.Department of The Interior. Denver Co.

INGEMMET. (2000). *Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 1*.

- Jones, N. L.(2004). "*Groundwater Flow and Pollutant Transport Modeling*".Class Fall Semester 2004.Dept. of Civil and Environmental Engineering. Brigham Young University, USA.
- Karlheinz Spitz & Joana Moreno "A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling".JONHN WILEY & SONS, INC. 461 Pages.New York-USA.
- Klaus, K. & Gerhard L. & Hans-Jurgen, V. (2007) "*Environmental Geology*".Springer Berlin Heidelberg New York.Berlín.
- Kirsch, Reinhard. (2006)."*Groundwater Geophysics a Tool for hydrogeology*".Springer-VerlagBerlín Heidelberg.Berlín.
- Mary P. Anderson & William W. Woessner (1992)."*Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and Advective Transport*".AcademicPress, 381 Pages. San Diego-USA.
- Molinero Huguet J. (2005) "*Paper de Maestría Universitaria en Ingeniería Del Agua*", Universidad Santiago de Compostela, Sevilla-España.
- Merkel, B. & Planer-Friedrich, B. (2008)."*Groundwater Geochemistry*".Springer-VerlagBerlín Heidelberg.Berlín.
- Mijailov, L., (1985), *Hidrogeología*. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285 p.p.
- McDonald, M. &Harbaugh, A. (1988) "*A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model*".258

- Pages. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. Washington.
- Ministerio de Energía de Minas. (2007). *"Manual de Calidad de Aguas"*. Lima-Perú.
- Peña, F., Vásquez, S., Sulca, P., Farfan, J. C., Carpio, J. y Moreno, J. L. (2010). *Los dominios hidrogeológicos en el Perú*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico- INGEMMET.
- Pinder, G. & Celia, M. (2006) *"Subsurface Hydrology"*. A John Wiley & Sons, Inc Publication. EEUU.
- Peña, F. (2012). *Las aguas subterráneas en el Perú*. Análisis situacional y objetivos futuros. Revistainstitucional INGEMMET, Año 4, No 19.
- Reilly, T. & Franke, O. (1990) *"The Effects of Boundary Conditions on the Steady-State Response of Three Hypothetical Ground-Water Systems-Results and Implications of Numerical Experiments"*. 23 Pages. United States Geological Survey. Department of The Interior. Denver, CO.
- Thangarajan, M. (2007). *"Groundwater-Resource Evaluation, Augmentarion, Contamination, Restoracion, Modeling and Management"*. Springer-Verlag Berlín Heidelberg. Berlín.
- U.S. Army Corps of Engineers. (1999) *"Groundwater Hydrology"*. *Engineer Manual, 122 Pages*. Department of the Army. Washington.

Vives, L. & Varni, M. (2004). "*Hidrología de Acuíferos en Rocas Sedimentadas*". Apuntes de Clase Maestría en Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Rosario-Instituto de Hidrología de Llanuras. Argentina.

Vereecken, H & Binley, A. & Cassiani, G. & Titov, K. (2006) "*Applied Hydrogeophysics*". Springer-Verlag Berlín Heidelberg. Berlín.

## **ANEXO**

Tabla N° 49. Precipitación total mensual en la zona de estudio

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1 970	207,3	132,7	101,9	190,0	38,9	11,8	8,9	6,1	81,7	51,5	40,3	176,2	1 047,2
1 971	87,1	160,5	169,3	54,4	10,3	1,1	5,0	10,6	29,6	112,0	35,7	173,8	849,4
1 972	156,5	147,4	206,9	140,9	22,4	44,2	55,2	25,3	98,0	80,9	69,4	130,6	1 177,7
1 973	241,2	181,4	186,5	135,8	63,1	28,6	29,6	32,4	91,9	108,4	87,1	155,4	1 341,4
1 974	163,7	218,7	133,5	119,8	19,5	25,1	27,1	62,8	94,9	36,0	44,6	49,8	995,4
1 975	167,3	284,7	384,4	82,8	47,1	47,7	16,1	57,3	146,2	165,3	102,3	180,3	1 681,5
1 976	324,9	191,7	202,1	74,5	65,3	26,2	29,4	34,1	62,4	40,2	57,6	122,8	1 231,0
1 977	124,9	172,9	104,2	49,2	77,5	16,1	18,4	17,6	39,0	100,7	169,4	105,1	995,0
1 978	157,8	175,2	162,7	45,1	20,1	47,2	44,6	59,8	87,9	47,8	95,4	156,6	1 100,0
1 979	73,7	202,0	257,8	78,6	36,6	23,5	34,4	26,4	29,3	35,0	75,1	55,5	927,8
1 980	65,4	112,7	244,1	43,3	37,5	21,7	41,9	23,5	73,9	173,8	124,3	94,6	1 056,6
1 981	188,0	257,8	160,4	71,9	21,7	22,0	20,1	43,9	79,1	52,3	61,4	164,4	1 143,0
1 982	91,9	107,3	89,1	62,8	19,3	16,9	29,0	55,1	44,5	78,1	111,8	88,0	793,8
1 983	114,4	89,7	128,5	67,4	25,5	30,5	16,1	17,6	40,7	55,2	61,3	150,5	797,5
1 984	105,5	205,2	185,8	46,0	37,5	31,9	19,8	23,0	51,0	59,5	41,0	40,7	846,9
1 985	48,2	107,2	116,6	139,1	82,4	53,6	19,2	24,5	57,5	16,1	70,1	60,1	794,7
1 986	75,8	97,1	122,1	65,2	37,4	16,1	35,4	33,0	35,1	34,0	55,5	100,8	707,6
1 987	130,0	118,3	67,5	31,6	21,7	20,4	27,6	29,9	29,5	33,4	54,7	87,0	651,6
1 988	132,9	165,5	106,2	95,6	25,6	16,1	16,8	18,3	21,4	52,7	48,6	117,2	817,0
1 989	132,7	138,9	153,0	70,1	40,2	48,2	34,5	76,5	60,9	72,5	37,0	36,6	901,1
1 990	136,2	39,3	86,8	47,7	63,8	91,6	20,3	34,4	61,8	121,9	121,8	115,0	940,4
1 991	55,7	104,6	127,6	58,9	50,1	35,2	37,1	16,3	52,1	94,1	60,3	38,6	730,6

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1 992	53,4	71,2	131,2	59,8	30,6	35,3	28,3	42,6	25,3	92,7	60,1	19,0	649,5
1 993	134,8	155,8	125,5	135,3	38,1	14,5	12,5	40,1	8,9	51,1	116,1	83,0	915,7
1 994	130,6	128,0	146,3	86,1	38,2	16,3	15,4	25,9	46,5	52,3	91,6	111,3	888,5
1 995	129,0	67,8	155,1	48,4	33,6	8,5	7,5	19,8	119,7	83,9	107,5	90,8	871,6
1 996	128,2	135,5	107,6	65,4	25,5	0,5	1,2	23,1	31,3	56,9	60,9	108,3	744,5
1 997	124,7	217,4	76,4	45,3	30,3	0,0	11,0	67,6	73,0	46,6	148,7	167,5	1 008,4
1 998	182,3	190,8	151,1	55,2	5,8	33,4	0,0	26,7	42,4	118,5	44,8	91,6	942,6
1 999	137,6	315,1	145,5	139,6	31,8	45,1	25,5	6,7	62,6	71,6	114,3	142,2	1 237,5
2 000	261,3	206,1	204,7	55,8	44,5	1,5	16,8	64,9	62,8	141,9	105,1	186,0	1 351,5
2 001	213,7	279,8	265,8	50,6	25,4	6,4	24,2	27,5	65,6	85,2	119,3	63,8	1 227,3
2 002	108,5	79,4	199,5	88,9	41,0	14,9	37,8	26,2	71,0	109,3	134,6	91,4	1 002,6
2 003	107,3	180,8	202,2	114,9	46,9	10,8	12,0	34,9	24,4	38,6	80,6	232,8	1 086,3
2 004	34,8	155,8	104,2	27,5	16,9	5,4	9,6	32,4	53,3	122,1	82,6	147,1	791,9
2 005	82,6	87,6	124,1	46,4	16,0	6,6	2,2	22,5	26,1	36,0	36,4	131,6	618,1
2 006	198,5	111,7	244,4	94,0	1,5	21,9	8,6	51,3	50,6	96,9	106,4	215,5	1 201,3
2 007	136,3	94,6	126,8	70,5	36,4	4,1	6,2	13,9	55,1	109,7	51,7	75,3	780,6
2 008	169,5	164,1	130,3	61,6	6,2	11,8	11,3	14,6	24,5	84,6	57,2	78,9	814,5
Media	136,3	155,2	157,4	77,3	34,2	23,4	20,9	32,5	56,7	77,4	80,6	113,7	965,6
Máxima	324,9	315,1	384,4	190,0	82,4	91,6	55,2	76,5	146,2	173,8	169,4	232,8	1 681,5
Mínima	34,8	39,3	67,5	27,5	1,5	0,0	0,0	6,1	8,9	16,1	35,7	19,0	618,1
Desv. Est.	60,8	63,3	62,6	36,8	18,5	18,6	13,0	17,7	28,8	37,9	34,4	51,5	225,8

