

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE DEPÓSITO DE RELAVE EN LA REGIÓN AREQUIPA.

CASO: PROYECTO ARTESANAL PLANTA DE BENEFICIO FILOMENA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

GAMBOA PILLICA MICHAEL

ASESOR:

MG. AYBAR ARRIOLA, GUSTAVO ADOLFO

JURADO:

Dr. PUMARICRA PADILLA, RAÚL VALENTÍN

Ms. GARCIA URRUTIA OLAVARRÍA, ROQUE JESÚS LEONARDO

Dr. BEDIA GUILLEN, CIRO SERGIO

LIMA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mi padre y a mi madre. Ellos son mi fortaleza.

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Máter, la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Mis gracias infinitas.

RESUMEN

La presente tesis titulada “DISEÑO DE DEPÓSITO DE RELAVE EN LA REGIÓN AREQUIPA. CASO: PROYECTO ARTESANAL PLANTA DE BENEFICIO FILOMENA”, tiene por finalidad explicar el proceso que implica el Diseño del Depósito de Relave del Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena, perteneciente a la S.M.R.L filomena 100.

La zona de estudio está ubicada a 476.4 km de Arequipa, a una altitud de 415 msnm. Políticamente, se ubica en el distrito de Jaquí, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa. Está dentro de la concesión minera “Jaquí”. En la concesión de beneficio Filomena se registra actividad minera, pequeños artesanos mineros que extraen el mineral sin ningún control y/o autorización, para posteriormente ser acopiado y procesado de forma artesanal, el producto de estas es dispuesto de forma muy precaria en cochas y en otros casos es trasportada a otros centros de acopio.

Es así que la presente tesis propone el diseño del depósito de relaves del “Proyecto Artesanal Planta de Beneficio Filomena” con el fin de mejorar la disposición de los relaves mineros producto del procesamiento del mineral acopiado de las actividades mineras de la zona.

Palabras Clave: Depósito de Relave, Planta de Beneficio.

ABSTRACT

This thesis entitled "RELAY DEPOSIT DESIGN IN THE AREQUIPA REGION. CASE: PROJECT ARTESANAL PLANT OF BENEFIT FILOMENA ", aims to explain the process involved in the Design of the Relave Deposit of the Artisan Project Concession of Benefit Filomena, belonging to the S.M.R.L filomena 100.

The study area is located 476.4 km from Arequipa, at an altitude of 415 meters above sea level. Politically, it is located in the district of Jaquí, province of Caravelí, department of Arequipa. It is inside the "Jaquí" mining concession. In the Filomena benefit concession mining activity is registered, small mining artisans that extract the ore without any control and / or authorization, to later be collected and processed by hand, the product of these is arranged in a very precarious way in cochas and in Other cases are transported to other collection centers.

Thus, this thesis proposes the design of the tailings deposit of the "Handicraft Project of Benefit Filomena" in order to improve the disposal of mining tailings from the processing of ore collected from mining activities in the area.

Keywords: Tailings deposit, beneficiation plant.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como objetivo diseñar el depósito de relave del proyecto artesanal planta de beneficio Filomena, en la región de Arequipa. Para ello busca explicar el diseño del depósito de relaves, para el almacenamiento de relave que se generará por el proceso metalúrgico. A su vez, evalúa la estabilidad física en condiciones críticas del depósito de relave Filomena con la finalidad de garantizar el diseño del depósito de relaves Filomena.

A continuación, se describen los capítulos a tratar en la presente tesis:

CAPÍTULO I: Se detallan las generalidades de la presente tesis, como los antecedentes nacionales e internacionales del tema en estudio, los objetivos, la formulación del problema, la justificación e importancia, y, por supuesto, la hipótesis.

CAPÍTULO II: El marco teórico, breves conceptos relacionados al diseño de depósitos de relaves, se indicando la tipología de los depósitos de relaves en nuestro medio. Además, se revisa la teoría de la estabilidad de las presas de relaves, teniendo en cuenta las causas de estabilidad.

CAPÍTULO III: Se describen las características de la zona en estudio, como la ubicación, las vías de acceso, etc.

CAPÍTULO IV: En este capítulo se detalla los estudios básicos de ingeniería que se realizaron en la zona del proyecto los cuales constan de levantamiento topográfico, peligro sísmico, caracterización hidrológica, geología, geomorfología, caracterización hidrogeológica, ensayos de laboratorio y caracterización geotécnica.

CAPÍTULO V: En este Capítulo se verán las obras Civiles necesarias para darle mayor estabilidad al depósito de relaves del “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena”, incluyen la estructura de protección hidráulica que es el sistema de drenaje superficial canal de coronación, estructura de entrega, sistema de subdrenaje y poza de control de fugas. Dentro de cada una de las estructuras antes mencionadas se contemplan un conjunto de subsistemas tales como la preparación de superficie de fundación.

CAPÍTULO VI: Se describe la estabilidad física, para ello se llevaron a cabo el análisis de estabilidad física como respaldo al diseño del depósito de relaves del “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena”. Los análisis comprendieron la evaluación de la geometría final y la fundación para establecer una (01) sección transversal crítica, la estimación de propiedades de resistencia del material, y análisis de estabilidad del talud tanto para condiciones de carga estática y pseudoestática.

Finalmente se brindarán las conclusiones obtenidas, y las recomendaciones.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| Dedicatoria | 2 |
| Agradecimiento | 3 |
| Resumen | 4 |
| Abstract | 5 |
| Capítulo I: Generalidades | 12 |
| 1.1 Antecedentes | 12 |
| 1.1.1 Antecedentes internacionales | 12 |
| 1.1.3 Antecedentes nacionales | 16 |
| 1.2 Formulación del problema | 19 |
| 1.3 Justificación e importancia | 19 |
| 1.4 Objetivos..... | 20 |
| 1.4.1 Objetivo general | 20 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 20 |
| 1.5 Hipótesis..... | 20 |
| Capítulo II: Marco teórico | 21 |
| 2.1 Concesión minera | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.2 Concesión de beneficio | 21 |
| 2.3 Mineral | 22 |
| 2.4 Planta de beneficio | 22 |
| Capítulo III: Análisis de la zona en estudio..... | 23 |
| 3.1 Ubicación | 23 |
| 3.2 Descripción del área en estudio..... | 23 |
| Capítulo IV: Estudios básicos de ingeniería..... | 24 |
| 4.1 Levantamiento topográfico | 24 |
| 4.2 Peligro sísmico | 24 |
| 4.2.1 Criterios para la selección del coeficiente sísmico en el análisis pseudo-estático | 25 |
| 4.2.2 Coeficiente sísmico | 26 |
| 4.3 Caracterización hidrológica..... | 27 |
| 4.3.1 Recursos hídricos | 27 |
| 4.3.2 Análisis y tratamiento de la información meteorológica | 33 |
| 4.3.3 Climatología..... | 37 |
| 4.3.4 Análisis de precipitación extrema | 51 |
| 4.4 Geología | 72 |

| | |
|--|-----|
| Capítulo V: Diseño de obras civiles | 87 |
| 5.1 Alcances | 87 |
| 5.2 Preparación de la fundación y manejo de filtraciones..... | 87 |
| 5.3 Sistema de colección de subdrenaje o sistema de control de fugas | 88 |
| 5.4 Poza de colección y recirculación de aguas de contacto y subdrenaje..... | 89 |
| 5.5 Configuración final del dique para el depósito de relave..... | 89 |
| 5.6 Canal de coronación | 91 |
| 5.7 Estructura de embalse..... | 92 |
| 5.8 Instrumentación geotécnica..... | 92 |
| 5.9 Muros de gavión (terramesh) | 92 |
| Capítulo VI: Análisis de estabilidad física | 93 |
| 6.1 Alcances | 93 |
| 6.2 Metodología del análisis de estabilidad | 93 |
| Conclusiones | 95 |
| Recomendaciones..... | 97 |
| Bibliografía..... | 98 |
| Anexo | 100 |

Planos100

CAPÍTULO I

Generalidades

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedentes internacionales

Guamán (2009) señala en la tesis titulada “Estudio y diseño de un depósito de relaves del plan de manejo de las plantas de beneficio en el sector minero Portovelo”, tesis para obtener el título de Ingeniero Civil – Ecuador, tiene como objetivo principal, evaluar las características geotécnicas del suelo de cimentación del depósito y las propiedades físico – mecánicas del material de relave, y diseñar el dique de arranque y el dique final del depósito de acuerdo a las características del sector.

Teniendo como resultado las siguientes conclusiones:

- Las actividades mineras son el principal contaminante de las aguas de los ríos Calera y Amarillo, presentando altos contenidos de metales pesados (concentraciones de Hg de 1650 ppm y Pb de 8350 ppm), cifras que sobrepasan los límites permisibles de calidad ambiental descritos en el TULAS.

- La mayor parte de planta de beneficio de minerales son artesanales y no cuentan con los medios necesarios para realizar un tratamiento eficiente de relaves, por lo que éstos son descargados directamente a los ríos, contaminando sus aguas.
- Las plantas de beneficio de minerales se encuentran ubicadas principalmente en dos sectores El Pache 31 plantas y El Salado 49 plantas.
- El sector de El Tablón presta las mejores condiciones para la construcción y funcionamiento del depósito de relaves por su cercanía a las plantas de beneficio de minerales, capacidad de almacenaje y menor impacto ambiental a los habitantes y flora y fauna del sector. El área de implantación del proyecto es de 15,63 ha.
- En el área de estudio existen dos zonas geológicas perfectamente marcadas con presencia de suelos tipo arcilla arenosa de color rojo SC (Zona A) y suelo tipo arena arcillosa color café claro SC (Zona B); encontrando el estrato rocoso a partir de 5 metros de profundidad de acuerdo a los ensayos de suelos y geofísica.
- La quebrada existente en la zona de estudio presenta un caudal apreciable solo en temporada lluviosa (3,6 m³/s de enero a abril), lo que hace que se requiera diseñar obras hidráulicas que permitan drenar el agua durante el periodo de crecidas, para asegurar la estabilidad del muro. La profundidad de cimentación se establece a 5 metros, a este nivel se encuentra el estrato rocoso.

- Existen dos tipos de unidades geomorfológicas: U.G. acolinada (cumbres de la parte alta de la cuenca, pendientes entre 15% y 30%) y U.G. de planicie (Zonas bajas junto a la quebrada El Salado, pendientes entre 5% y 15%). El método constructivo aguas abajo es el más eficiente, debido a que presente factores de seguridad superiores a los conseguidos por medio de otros métodos constructivos ($F.S.volteo = 80,79$; $F.S.deslizamiento = 3,55$; Asentamientos máximos = 0,064 m).

Urbano (2016) señala en la tesis titulada “Estudio experimental propiedades dinámicas de relaves espesados. Aplicación al análisis de estabilidad de un depósito de relaves”, tesis para obtener el grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería – Chile, tiene como objetivo principal, determinar, mediante ensayos de laboratorio, las propiedades geotécnicas dinámicas asociadas tanto a licuación como a la degradación del módulo de corte y amortiguamiento de los relaves espesados de una mina en funcionamiento en Chile.

Teniendo como resultados las siguientes conclusiones:

- El programa de ensayos efectuado en la presente investigación permitió caracterizar monótona y dinámicamente el comportamiento de una muestra de relave espesado. El plan de ensayos comprendió ensayos triaxiales monótonos CIU y CID, junto con triaxiales cíclicos drenados y no drenados, columna resonante y torsión cíclica. Curvas de degradación del módulo de corte y de amortiguamiento, línea de estado último y resistencia cíclica fueron propuestas como resultado del plan de ensayos.

- Adicionalmente, se calibraron los modelos constitutivos de Mohr-Coulomb y HSsmall y se compararon dos metodologías que usaron estas calibraciones para modelar la respuesta dinámica de un depósito de relaves espesados. Los resultados se indican a continuación:
- El relave espesado ensayado presenta propiedades monótonas en términos de ángulo de fricción interna efectivo ϕ' y cohesión efectiva c' similares a las mencionadas en la bibliografía citada.
- El relave espesado ensayado presenta una resistencia no drenada $S_u/\sigma'_{v3} = 0.56$, la cual se encuentra muy por encima de las mencionadas para relaves espesados en la bibliografía citada. Esto puede explicarse por la alta densidad que este relave presenta en terreno, lo cual es una importante mejora en términos de resistencia no drenada si se compara con la citada para relaves depositados de manera convencional. De igual forma, se observa una resistencia cíclica mayor que la indicada en la bibliografía citada, con un límite inferior de CRR de 0.15.
- Las curvas de degradación del módulo de corte y de amortiguamiento propuestas para el relave espesado ensayado son similares a la publicadas actualmente para suelos arcillosos depositados naturalmente y con índices de plasticidad IP similares al relave. Esto muestra el alto impacto del IP en el módulo de corte y el amortiguamiento, tanto para suelos de origen natural como artificial.

1.1.3 Antecedentes nacionales

Huaña (2015) señala en la tesis titulada “Diseño de depósitos de relaves filtrados”, tesis para obtener el título de Ingeniero Civil – Perú, tiene como objetivo principal, definir todo el proceso que involucra el diseño y construcción de un depósito de relaves filtrados, desde la obtención del relave, pasando por el tipo de transporte, trabajabilidad, hasta la geometría final, incluyendo el proceso de compactación de los relaves filtrados.

Teniendo como resultados las siguientes conclusiones:

- En relación con los objetivos planteados en la presente tesis, se han presentado 2 casos de las etapas de diseño y operación de depósitos de relaves filtrados con la finalidad de destacar las tareas desarrolladas por el ingeniero civil-geotécnico, permitiendo con esto generar una base de datos adecuada de esta moderna forma de disposición de relaves.
- La evolución de tecnologías para procesar el mineral explotado, a causa de las exigencias propias de cada país, ha hecho que mejore la calidad de obtención y explotación de los recursos que intervienen en el proceso de filtrado de relaves, con el consiguiente ahorro del agua, menores áreas de disposición, mayor capacidad de los depósitos de relaves, mejores condiciones de estabilidad, etc.

- Las formas de disposición de relaves, desde los relaves en pulpa pasando por los relaves espesados y llegando hasta los relaves en pasta y filtrados, fueron posible por la tecnología combinada de espesadores y tipos de filtros, obteniéndose cada vez materiales (relaves filtrados) con mejores propiedades geotécnicas y mejores formas de transporte y colocación, teniendo con ello geometrías más pronunciadas, las cuales ocupan menos área en comparación con los relaves en pulpa y espesados.
- En el ámbito de costos de capital y operación, en cuanto a los sistemas de disposición de relaves en seco (filtrados), a diferencia de los relaves húmedos (pulpa y espesado), se opta por el método de filtros a pesar de la mayor inversión; sin embargo, el tiempo de vida útil de esta forma de disposición y de la infraestructura es más amplia que el de los sistemas convencionales, por esta razón es que se opta por esta tecnología de disposición.
- Los datos de diseño en el caso 1 (depósito de relaves filtrados en la zona de la sierra), se basan en la premisa de obtener un material final con condiciones geotécnicas apropiadas; bajo este concepto la operación minera decidió mezclar el relave filtrado con material de préstamo, llegándose a obtener un material tipo arena limosa (SM). Finalmente, esta mezcla es colocada y compactada para su disposición en el depósito.
- La operación del depósito de relaves en el caso 1 implica tener relaves filtrados con humedades óptimas en el rango de 11 - 13%, antes de ser mezclados con el material de préstamo, con la finalidad de lograr una compactación adecuada.

Aguirre (2017) señala en la tesis titulada “Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N° 5 de la Concesión de Beneficio Belén de minera Titán del Perú S.R.L.”, tesis para obtener el título de Ingeniero Geólogo – Perú, tiene como objetivo principal, determinar la influencia que tienen sobre la estabilidad física de la presa de relaves N° 5 de la concesión de beneficio Belén, los cambios realizados en el diseño de ingeniería original en cuanto al sistema de disposición de relaves y los parámetros de construcción.

Teniendo como resultados las siguientes conclusiones:

- Los factores de seguridad obtenidos en la sección más vulnerable de deslizamiento (sección A-A’) adoptando la nueva configuración, son de 1.483 para condición estática y 1.076 para condición pseudoestática, considerando un coeficiente sísmico de 0.17 g, utilizando el método de análisis de Janbu simplificado, dichos valores son mayores al mínimo requerido por lo que la estabilidad física del dique del depósito de relaves está asegurada.
- Las propiedades resistentes de las distintas unidades geotécnicas y materiales que conforman el depósito de relaves N° 5, se obtuvieron sobre la base de la información del estudio previo (del año 2010), de los ensayos de campo y de los ensayos de laboratorio realizados como parte de la última campaña realizada. Las propiedades resistentes obtenidas se presentan a continuación:
- Dique de arranque: Conformado por grava mal gradada con arcilla / arena arcillosa con grava, tiene un Peso Unitario de 19 KN/m³, una cohesión de 22 KPa y un ángulo de fricción de 32°.

- Dren chimenea y Colchón drenante: Conformado principalmente por grava mal gradada con arena, tiene un Peso Unitario de 20 KN/m³, una cohesión de 0 KPa y un ángulo de fricción de 44°.
- Unidad Geotécnica I (UG-I): Conformado por horizontes de arena y grava arenosa de compacidad suelta, tiene un Peso Unitario de 21 KN/m³, una cohesión de 30 KPa y un ángulo de fricción de 33°.

1.2 Formulación del problema

¿Realizando un correcto diseño del depósito de relaves Filomena se podrá satisfacer las condiciones de disposición de los relaves y satisfacer la producción de la planta de procesamiento?

1.3 Justificación e importancia

En la concesión de beneficio Filomena se registra actividad minera, pequeños artesanos mineros que extraen el mineral sin ningún control y/o autorización, para posteriormente ser acopiado y procesado de forma artesanal, el producto de estas es dispuesto de forma muy precaria en cochas y en otros casos es transportada a otros centros de acopio, es así que la presente tesis propone el diseño del depósito de relaves del “Proyecto Artesanal Planta de Beneficio Filomena” con el fin de mejorar la disposición de los relaves mineros producto del procesamiento del mineral acopiado de las actividades mineras de la zona.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar el depósito de relave del proyecto artesanal planta de beneficio Filomena, en la región de Arequipa.

1.4.2 Objetivos específicos

- Explicar el diseño del depósito de relaves, para el almacenamiento de relave que se generará por el proceso metalúrgico.
- Evaluar la estabilidad física en condiciones críticas del depósito de relaves filomena con la finalidad de garantizar el diseño del depósito de relaves filomena.
- Evaluar las características geotécnicas del suelo de cimentación del depósito de relave filomena con la finalidad de garantizar la estabilidad del vaso de la presa.

1.5 Hipótesis

Realizando un correcto diseño del depósito de relaves Filomena se podrá satisfacer las condiciones de disposición de los relaves y satisfacer la producción de la planta de procesamiento.

CAPÍTULO II

Marco teórico

2.1 Concesión minera

Es el derecho que confiere a su titular la facultad a realizar actividades mineras de exploración o explotación de los recursos minerales, previo cumplimiento de los requisitos ambientales y de acceso al predio superficial.

2.2 Concesión de beneficio

Aula57internacional.es (2019) señala que:

La concesión de beneficio otorga a su titular el derecho a extraer o concentrar la parte valiosa de un agregado de minerales desarraigados del yacimiento del cual provienen, mediante un conjunto de procesos físicos, químicos y/o físico - químicos que comprende la preparación mecánica y/o la metalurgia.

2.3 Mineral

Tipo de roca que contiene metales en concentraciones suficientemente altas para que su extracción sea económica. Dicha roca al ser extraída y procesada del yacimiento es clasificada en Mena y Ganga. Mena es el mineral sin limpiar, tal como se extrae de la mina, es un mineral del que se puede extraer aquel elemento porque lo contiene en cantidad suficiente para poder aprovecharlo.

2.4 Planta de beneficio

Es el lugar donde se procesan los minerales provenientes de las minas hasta obtener el metal deseado, dicho proceso comprende las siguientes fases: Chancado: Proceso en la que se reduce los fragmentos de roca de la mina a un tamaño aceptable como alimentación de equipos de molienda. Molienda: Etapa final de la reducción física del mineral desde roca a tamaño de relaves. Concentración: Separa las partículas de valores altos (concentrado) de aquellos con bajos valores (relaves). Ejemplos: separación por gravedad, separación magnética y flotación.

CAPÍTULO III

Análisis de la zona en estudio

3.1 Ubicación

La presente tesis se basa en el diseño del depósito de relaves del “Proyecto Artesanal Planta de Beneficio Filomena” que se encuentra ubicado a 476.4 km de Arequipa, a una altitud de 415 msnm.

Políticamente, se ubica en el distrito de Jaquí, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa. Está dentro de la concesión minera “Jaquí”.

3.2 Descripción del área en estudio

La geología regional del área de estudio está comprendida por un basamento rocoso de rocas ígneas intrusivas pertenecientes al Batolito de Costa variando de granodioritas a tonalitas y a lo largo de las Quebradas Acaville y Tres Marías se encuentran los depósitos aluviales conformados litológicamente por arena suelta semiconsolidada, rodados y gravas además de los depósitos eólicos los cuales están conformados por arena.

CAPÍTULO IV

Estudios básicos de ingeniería

4.1 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico fue proporcionado por la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Filomena 100. Estos estudios topográficos realizados tienen como objetivo realizar los trabajos de campo que permitan elaborar los planos topográficos, para que, en base a ellos, se realice el diseño de la construcción.

4.2 Peligro sísmico

Este estudio comprende el desarrollo de la Zonificación Sísmico-Geotécnica (comportamiento dinámico del suelo – CDS) utilizando registros de vibración ambiental, aplicando la técnica de razones espectrales (H/V), y estudios de geotecnia mediante el análisis de suelos en laboratorio. Para la evaluación de la estabilidad física del depósito de relaves del “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena” se calculó con un periodo de retorno de 500 años.

Alcanzando una aceleración máxima de 0.52g, de acuerdo a la literatura técnica existente, ampliamente aceptada internacionalmente, se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis en la condición pseudoestática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre 1/3 a 1/2 de la máxima aceleración máxima esperada.

Esta recomendación es consistente con las recomendaciones del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, Hynes y Franklin, 1984), quienes sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración pico de diseño, para nuestro caso el coeficiente sísmico será de 0.26g en condiciones pseudoestáticas.

4.2.1 Criterios para la selección del coeficiente sísmico en el análisis pseudo-estático

El coeficiente sísmico a utilizarse para el “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena” está influenciado por los factores siguientes:

Sismicidad de la zona.

Condiciones locales de la cimentación, cuanto mayor sea la densidad natural del subsuelo menor será la amplificación sísmica.

Periodo fundamental para el Proyecto “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena”. implícitamente considera la altura y propiedades de los materiales.

Importancia de la estructura y riesgo de daños para el Proyecto “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena”.

4.2.2 Coeficiente sísmico

De acuerdo a la literatura técnica existente, ampliamente aceptada internacionalmente, se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis en la condición pseudoestática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre $1/3$ a $1/2$ de la máxima aceleración esperada. Esta recomendación es consistente con las recomendaciones del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, Hynes y Franklin, 1984), quienes sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración pico de diseño.

La recomendación del Cuerpo de Ingenieros está basada en la aplicación del método de Newmark para calcular desplazamientos permanentes en presas de tierra utilizando más de 350 registros sísmicos, concluyéndose que estas estructuras analizadas por el método pseudo-estático, con factores de seguridad mayores que 1,0. Utilizando coeficiente sísmico horizontal de $0,5xPGA$ no desarrollan deformaciones mayores a 1 m, que es un valor arbitrario que puede ser tolerado por presas de tierra, sin representar una amenaza a la integridad de la estructura.

Por lo tanto, en el presente estudio, recomendamos utilizar un coeficiente sísmico de 0,26 para el análisis pseudoestático de diseño del depósito de relaves del Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena.

4.3 Caracterización hidrológica

Dentro del área de influencia correspondiente al presente estudio se ha reconocido a la quebrada Tres Marías, las cuales se describen a continuación: Hidrográficamente, la quebrada Tres Marías limita por el norte con la quebrada acaville, por el sur limita con las quebradas El Faro y El Atajo, por el oeste limita con el río Yauca, en tanto que por el este colinda con los cerros El Milagro y Alto la Cruz. La zona de estudio se encuentra en el rango de altitudes comprendida desde el nivel de 334 msnm hasta los 2650 msnm.

4.3.1 Recursos hídricos

Quebrada Tres Marías

Esta quebrada tiene su nacimiento en los cerros El Milagro y Alto cruz con una dirección de NE A SO, así mismo pertenece al sistema hidrográfico de la cuenca Yauca, que a su vez pertenece a la cuenca hidrográfica del Pacífico.

Climatológicamente la microcuenca Tres Marías es considerada de régimen seco por tener una deficiencia de lluvias en todas las estaciones, así mismo está considerado como una zona semicalida y húmeda, con precipitaciones anuales promedio entre 0.5 a 13 mm.

La microcuenca Tres Marías hasta la captación tiene un área de drenaje de 87.639 km², asimismo el cauce principal tiene una longitud de 22.230 Km y una pendiente promedio de 3.5 %.

Parámetros Geomorfológicos

Como parte de la investigación hidrológica, se ha obtenido los principales parámetros geomorfológicos de la subcuenca en estudio, como: Área, Perímetro. Longitud del curso del río, Cota Mayor, Cota Menor, Pendiente, Altitud Media, Índice de Compacidad, Factor de Forma.

El índice de compacidad es la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área igual a la de la cuenca. Este índice nos indica que cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Para una cuenca perfectamente circular, su valor será igual a 1. Para una cuenca ovalada, por tanto, los escurrimientos recorren cauces secundarios hasta llegar a uno principal, por lo que la duración del escurrimiento es superior, mientras que, si fuese alargada, el agua discurre en general por un solo cauce. Como se ve este índice es de interés porque nos da el tiempo que tarda en llegar el agua desde los límites de una cuenca hasta la salida de la misma.

El factor de forma, expresa la relación entre el ancho promedio y la longitud de la cuenca, medida esta última desde el punto más alejado hasta la descarga. El ancho promedio se obtiene, a su vez, dividiendo la superficie de la cuenca entre su longitud. Para cuencas muy anchas o con salidas hacia los lados, el factor de forma puede resultar mayor que la unidad.

En la siguiente tabla se puede observar los valores de estos parámetros calculados para la subcuenca del sector estudiado.

Parámetros de forma de la subcuenca de estudio

| Parámetros de forma | Und | Subcuenca Tres Marías |
|--|-----------------|-----------------------|
| Área de la cuenca (km ²) | Km ² | 87.639 |
| Perímetro de la cuenca | Km | 51.484 |
| Longitud del Cauce Principal | Km | 22.230 |
| Longitud del Cauce al centro de gravedad | Km | 11.025 |
| Cota máxima | msnm | 2650 |
| Cota mínima | msnm | 334 |
| Coefficiente de Compacidad | | 1.54 |
| Factor de Forma | | 0.177 |

Fuente: ACOMISA.

Área de la cuenca

Es la superficie de la cuenca que, dependiendo de la ubicación de la cuenca, su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de escorrentía, tanto directa como de flujo de base o flujo sostenido.

Perímetro de la cuenca

Es la longitud de la línea que rodea a la superficie de la cuenca.

Longitud del cauce principal

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresado en unidades de longitud.

Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius

Parámetro a dimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

Las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración cortos con gastos pico muy fuerte y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen gastos pico más atenuado y recesiones más prolongadas.

$$Kc = 0.282 * \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$$

Dónde:

Kc = Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

P = perímetro de la cuenca (km)

A = área de la cuenca (km²)

De la expresión se desprende que Kc siempre es mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca. Este factor a dimensional constituye un índice indicativo de la tendencia de avenida en una cuenca.

Una cuenca de forma circular posee el coeficiente mínimo igual a 1 y tiene mayor tendencia a las crecientes en la medida que el valor de Kc se aproxima a la unidad; cuando se aleja de la unidad, presenta una forma más irregular con relación al círculo.

Cuando el $K_c = 1$: tiempo de concentración menor, cuenca circular, mayor tendencia a crecientes y $K_c = 2$: tiempo de concentración mayor, cuenca de forma alargada, menor tendencia a crecientes.

Factor de forma

Definido como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima, medida desde la salida hasta el límite de la cuenca, cerca de la cabecera del cauce principal a lo largo de una línea recta.

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Dónde:

Ff = Factor de forma

A = Área de la cuenca (km²)

L = Longitud de cauce principal de la cuenca (km)

Para un círculo, $Ff = 0.79$; para un cuadrado con la salida en el punto medio de uno de los lados, $Ff = 1$, y con la salida en una esquina, $Ff = 0.5$.

4.3.2 Análisis y tratamiento de la información meteorológica

Análisis de variables meteorológicas

La comparación de la precipitación, frente a la evapotranspiración (evaporación del suelo más la transpiración de las plantas), permite establecer condiciones de humedad del suelo con respecto al desarrollo de la vegetación.

La información básica para la caracterización del clima y la meteorología del área del estudio, así como del ámbito de influencia directa e indirecta, proviene de registros de estaciones climáticas y pluviométricas a cargo del SENAMHI.

En la siguiente tabla se presenta las principales características de las estaciones consideradas para el análisis de la caracterización climática y meteorológica. Para cada estación considerada se indica el nombre, tipo, coordenada geográfica, ubicación política y período de registro.

Esta información se ha obtenido del Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la zona Alto andina del Perú; departamento de Pasco, elaborado por la EX- ONERN (Oficina de Evaluación de los Recursos Naturales 1984).

La información que será utilizada en el estudio es la siguiente:

Registro de 05 estaciones meteorológicas de las cuales todas son estaciones pluviométricas (PLU).

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS A NIVEL ANUAL PARA EL ESTUDIO SE HA TOMADO COMO ESTACIÓN REPRESENTATIVA LA ESTACIÓN DE CHAPARRA CONSIDERANDO LA SIGUIENTE INFORMACIÓN.

Temperatura media mensual.

Precipitación total mensual.

Humedad relativa media mensual.

Velocidad media del viento registrada en el mes.

Precipitación máxima en 24 horas.

Estaciones Meteorológicas del área de estudio

| Tipo | Estación | Ubicación Política | | | Ubicación Geográfica | | |
|------|----------|--------------------|--------------|-------------|----------------------|-----------|---------|
| | | Dpto | Provincia | Distrito | Latitud | Longitud | Altitud |
| PLU | Acarí | Arequipa | Caravelí | Bella unión | 15°24'1" | 74°37'1" | 228 |
| PLU | Caravelí | Arequipa | Caravelí | Caravelí | 15°46'17" | 73°21'42" | 1779 |
| PLU | Chala | Arequipa | Caravelí | Chala | 15°51'51" | 74°14'14" | 94 |
| PLU | Chaparra | Arequipa | Caravelí | Chaparra | 15°45'1" | 73°52'1" | 1033 |
| PLU | Coracora | Ayacucho | Parinacochas | Coracora | 15°1'0" | 73°47'0" | 3172 |

Fuente: ACOMISA.

Análisis de consistencia

El análisis de consistencia de la información pluviométrica está basado en una técnica que permite detectar, identificar, cuantificar, corregir y eliminar los errores sistemáticos de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie hidrológica.

Antes de proceder a efectuar el Modelamiento Hidrológico es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo a fin de obtener una serie homogénea, consistente, confiable y calidad de la data.

Para el análisis de consistencia se realizó el análisis visual de Pluviogramas que se describe a continuación.

A) Análisis visual de pluviogramas

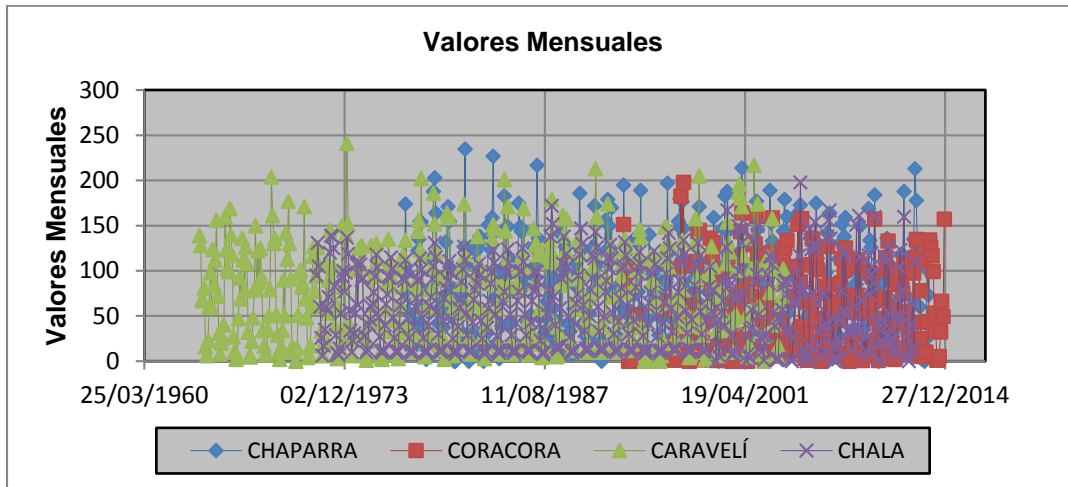
Este análisis se realiza para detectar e identificar la inconsistencia de la información pluviométrica en forma visual, e indicar el período de datos faltantes, los períodos en los cuales los datos son dudosos, lo cual se puede reflejar como “picos“ muy altos o valores muy bajos, “saltos” y/o “tendencias”

Los cuales se deben comprobarse si son fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido o son producidos por errores sistemáticos, mediante un gráfico o Pluviograma de las series de análisis, en coordenadas cartesianas ploteando la información histórica de la variable pluviométrica a nivel anual y mensual; en las ordenadas se ubica los valores anuales o mensuales de la serie pluviométrica en unidades respectivas y en las abscisas el tiempo en años y meses.

Las estaciones analizadas en el estudio, mediante este análisis visual de los Pluviogramas, se puede observar que presentan una tendencia estable, debida a que no existe periodos dudosos significativos en las series mensuales; como se muestra en la

figura: Serie Histórica de Precipitación Total Mensual.

Serie Histórica de Precipitación Total Mensual



Fuente: ACOMISA

4.3.3 Climatología

Temperatura

Para el estudio de la temperatura se ha utilizado información a nivel regional, empleando datos anuales de 05 estaciones climatológicas; las mismas que se presentan en el siguiente cuadro. Se conoce que las variaciones de la temperatura están directamente relacionadas a la altitud.

Por lo que se utilizó este criterio para determinar el grado de relación mediante el análisis de regresión, para posteriormente determinar la temperatura en cualquier punto de interés de la zona de estudio.

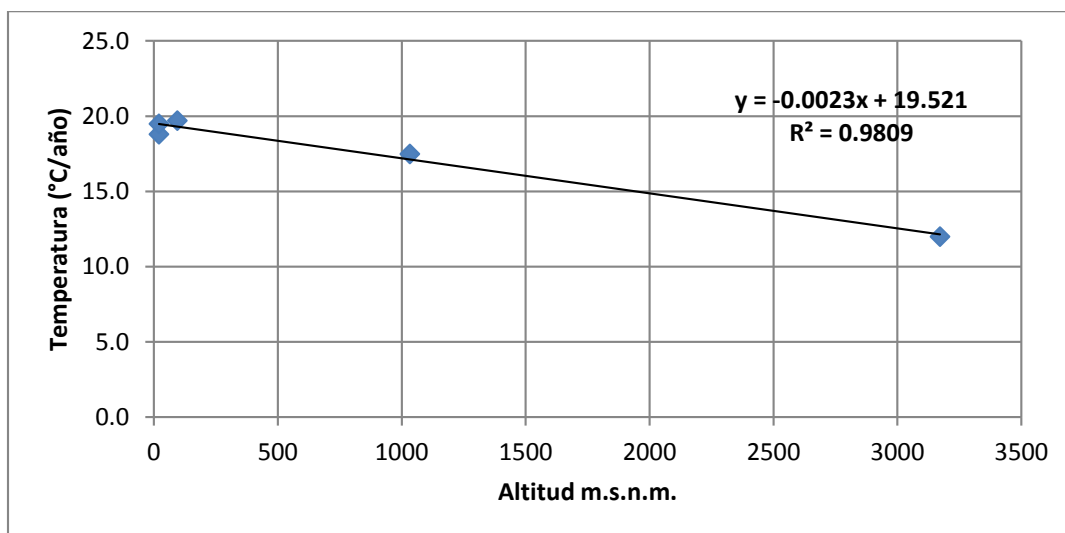
Relación Altitud - Temperatura Promedio Anual

| Estación | Altitud (msnm) | Temperatura (°C/año) |
|-------------|----------------|----------------------|
| Chaparra | 1033 | 17.5 |
| Chala | 94 | 19.7 |
| Coracora | 3172 | 12.0 |
| Punta Ático | 20 | 18.8 |
| Lomas | 20 | 19.5 |

Fuente: ACOMISA.

Para obtener temperaturas medias anuales en cualquier punto de interés con solamente la altitud, se ha seguido el siguiente procedimiento: se ha plotado la información del cuadro anterior para obtener la relación entre altitud y temperatura, como se observa en la siguiente figura:

Relación Altitud vs. Temperatura Promedio Anual



Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la recta planteada en la anterior, se ha obtenido la expresión matemática resultante de dicha regresión, la misma que expresa una relación inversamente proporcional de la temperatura respecto a la altitud:

$$T = -0.0023 * H + 19.521$$

$$R^2 = 0.9809$$

Dónde:

T = Temperatura media anual (°C)

H = Altitud con respecto al nivel del mar (msnm)

R = Coeficiente de correlación (este índice estadístico mide la relación lineal entre dos variables).

Esta expresión señala que la temperatura y la altitud guardan una relación inversa muy aceptable estadísticamente; con un coeficiente de correlación de 0.9809.

Utilizando la ecuación obtenida, se ha logrado extrapolar valores de temperatura media anual en el área de estudio del Proyecto.

Lográndose tener la temperatura media anual para la subcuenca como se muestra en la tabla siguiente:

Temperatura media mensual microcuenca Tres Marías.

| TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ESTIMADA | | | |
|---|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|
| PARA LA ZONA DEL PROYECTO | | | |
| Altitud media = | | 1565.5 | msnm |
| MES | PARAMENTROS DE LA ECUACION | | TEMP. MEDIA MENSUAL (°C) |
| | A | B | |
| Enero | 22.397 | -0.0016 | 17.96 |
| Febrero | 22.783 | -0.0018 | 17.79 |
| Marzo | 21.957 | -0.0014 | 18.08 |
| Abril | 20.508 | -0.0008 | 18.29 |
| Mayo | 18.551 | -0.0001 | 18.27 |
| Junio | 16.822 | -0.0004 | 15.71 |
| Julio | 15.895 | -0.0009 | 13.40 |
| Agosto | 15.563 | -0.0014 | 11.68 |
| Septiembre | 15.666 | -0.0018 | 10.68 |
| Octubre | 17.247 | -0.0012 | 13.92 |
| Noviembre | 19.054 | -0.0003 | 18.22 |
| Diciembre | 20.756 | -0.0007 | 18.82 |
| Temp. Media Anual | | | 16.07 |

Fuente: ACOMISA.

Análisis Temporal de la Temperatura Media Mensual

La Temperatura media mensual que caracteriza a la zona de estudio se ha determinado sobre la base de la estación Chaparra (Fuente: SENAMHI) dicha estación histórico (1964/2014), la temperatura promedio anual para la microcuenca Tres Marías alcanza los 16.07°C.

Además de estar cercana a la zona de estudio, es la que cuenta con mayor registro.

Precipitación

Regionalización de la precipitación

La precipitación constituye uno de los parámetros más importantes de la caracterización de las zonas en estudio, del análisis desarrollado se puede observar que la precipitación tiene una relación aceptable entre la altitud y su lámina de agua precipitada.

La siguiente presenta la relación de las estaciones utilizadas, observándose los valores de precipitación total anual con su correspondiente altitud.

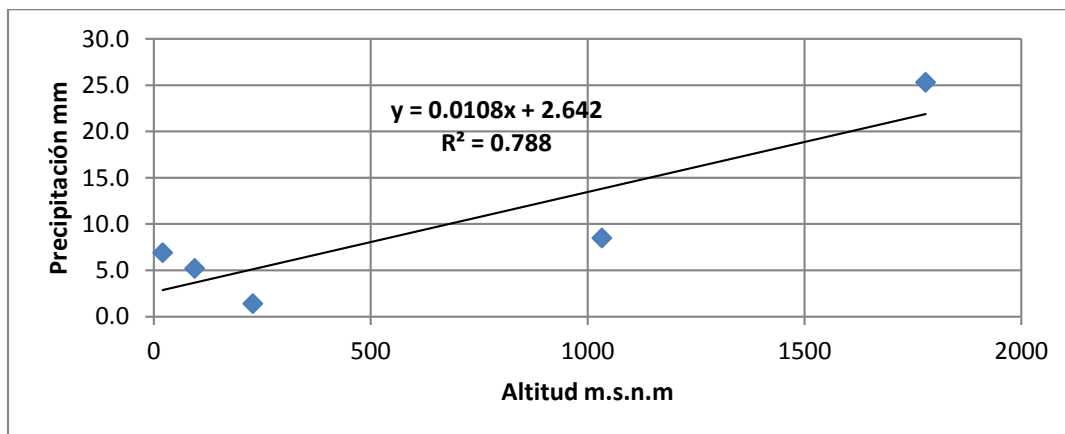
En la figura, se observa el ajuste de estos valores a través de la línea de regresión de tipo potencial.

Relación Altitud – Precipitación Total Anual

| Estación | Altitud msnm | Precipitación mm |
|-------------|--------------|------------------|
| Chaparra | 1033 | 8.5 |
| Caravelí | 1779 | 25.3 |
| Chala | 94 | 5.2 |
| Punta atico | 20 | 6.9 |
| Acarí | 228 | 1.4 |

Fuente: ACOMISA.

Ajuste de Valores de Altitud vs. Precipitación Total



Fuente: Elaboración Propia.

Para el análisis se ha utilizado la información de 05 estaciones de precipitación total anual, obteniendo un buen ajuste con la ecuación lineal, expresada de la siguiente forma:

$$P = 0.0108*(H)+2.642$$

$$R^2 = 0.788$$

Dónde:

P = Precipitación total anual en mm.

H = Altitud en msnm

R = Coeficiente de correlación (este índice estadístico mide la relación lineal entre dos variables).

Análisis Temporal de la Precipitación Media Mensual

La precipitación mensual, que caracteriza a la zona de estudio se ha determinado sobre la base de la estación Chala, dicha estación además de estar cercana a la zona de estudio, es la que cuenta con mayor registro histórico (2000/2014), la precipitación promedio anual corregido y completada alcanza los 3.1mm.

Precipitación total mensual corregida y completada Estación Chaparra (mm)

| Nº | AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | TOTAL |
|-----------------|------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 1964 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.6 |
| 2 | 1965 | 0.00 | 5.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.60 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 10.3 |
| 3 | 1966 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.9 |
| 4 | 1967 | 3.80 | 2.90 | 1.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.3 |
| 5 | 1968 | 14.40 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.7 |
| 6 | 1969 | 0.60 | 0.00 | 14.7 | 4.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 20.7 |
| 7 | 1970 | 2.20 | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.8 |
| 8 | 1971 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | 0.4 |
| 9 | 1972 | 0.00 | 11.80 | 5.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.5 |
| 10 | 1973 | 3.30 | 8.60 | 4.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 16.2 |
| 11 | 1974 | 1.80 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.4 |
| 12 | 1975 | 3.20 | 2.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.7 |
| 13 | 1976 | 26.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.8 |
| 14 | 1977 | 13.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.1 |
| 15 | 1978 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 |
| 16 | 1979 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 |
| 17 | 1980 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 |
| 18 | 1981 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 |
| 19 | 1982 | 3.97 | 1.84 | 1.46 | 0.24 | 0.01 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.28 | 0.00 | 0.01 | 0.11 | 8.0 |
| 20 | 1983 | 0.70 | 2.70 | 11.70 | 6.60 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 23.3 |
| 21 | 1984 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | 0.4 |
| 22 | 1985 | 3.75 | 2.07 | 1.51 | 0.22 | 0.01 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.02 | 0.11 | 8.0 |
| 23 | 1986 | 0.00 | 11.80 | 5.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.5 |
| 24 | 1987 | 1.80 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.4 |
| 25 | 1988 | 4.10 | 3.20 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.2 |
| 26 | 1989 | 0.00 | 1.30 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.2 |
| 27 | 1990 | 0.00 | 1.50 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.4 |
| 28 | 1991 | 1.80 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.4 |
| 29 | 1992 | 3.20 | 2.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.7 |
| 30 | 1993 | 3.20 | 2.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.7 |
| 31 | 1994 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 |
| 32 | 1995 | 3.11 | 2.21 | 1.47 | 0.16 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.01 | 0.08 | 7.3 |
| 33 | 1996 | 2.49 | 1.49 | 2.18 | 1.66 | 0.16 | 0.29 | 0.55 | 0.19 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.38 | 9.4 |
| 34 | 1997 | 0.26 | 1.82 | 2.94 | 2.26 | 0.26 | 0.46 | 0.68 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 9.5 |
| 35 | 1998 | 0.50 | 5.90 | 1.70 | 0.60 | 1.80 | 0.50 | 0.90 | 1.10 | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 15.0 |
| 36 | 1999 | 1.73 | 2.90 | 1.70 | 0.99 | 0.26 | 0.20 | 1.94 | 0.19 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 10.3 |
| 37 | 2000 | 6.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.3 |
| 38 | 2001 | 0.00 | 1.30 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.2 |
| 39 | 2002 | 3.40 | 14.50 | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.1 |
| 40 | 2003 | 0.00 | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.5 |
| 41 | 2004 | 0.00 | 5.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.1 |
| 42 | 2005 | 0.50 | 5.90 | 1.70 | 0.60 | 1.80 | 0.50 | 0.90 | 1.10 | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 15.0 |
| 43 | 2006 | 0.40 | 0.70 | 1.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.7 |
| 44 | 2007 | 2.30 | 1.60 | 0.60 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.5 |
| 45 | 2008 | 13.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.4 |
| 46 | 2009 | 3.10 | 1.20 | 2.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.9 |
| 47 | 2010 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.9 |
| 48 | 2011 | 0.00 | 1.10 | 0.00 | 1.90 | 0.00 | 2.30 | 2.00 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.10 | 10.3 |
| 49 | 2012 | 0.50 | 2.50 | 11.50 | 6.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.9 |
| 50 | 2013 | 0.80 | 5.00 | 3.20 | 3.00 | 0.90 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 14.9 |
| 51 | 2014 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.3 |
| Promedio | | 2.6 | 2.3 | 1.7 | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0.6 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 8.5 |
| Máximo | | 26.8 | 14.5 | 14.7 | 6.6 | 1.8 | 2.3 | 21.0 | 1.1 | 4.6 | 0.2 | 0.2 | 2.1 | 26.8 |
| Mínimo | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

SIN DATA, COMPLETADA CON PROMEDIO
SIN DATA, COMPLETADA POR EL MÉTODO DE
VECTOR REGIONAL
SIN DATA, EXTENDIDA POR EL MÉTODO ESTOCÁSTICO
PARMA

Fuente: Elaboración Propia.

Coeficientes de regionalización para la subcuenca.

| Nombre de la subcuenca | Altitud (msnm) | Precipitación Total promedio Anual de la subcuenca (mm), determinada por el método de regionalización | Precipitación Total Anual de la estación Chaparra (mm) | Coefficiente de regionalización |
|------------------------|----------------|---|--|---------------------------------|
| Tres Marías | 1565.50 | 13.81 | 8.5 | 1.623 |

Fuente: ACOMISA.

Precipitaciones medias generadas en base a la estación Chaparra

| Microcuenca | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | TOTAL |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| Tres Marías | 4.22 | 3.74 | 2.77 | 0.99 | 0.21 | 0.14 | 1.02 | 0.14 | 0.28 | 0.01 | 0.02 | 0.27 | 13.81 |

Fuente: ACOMISA.

Humedad relativa

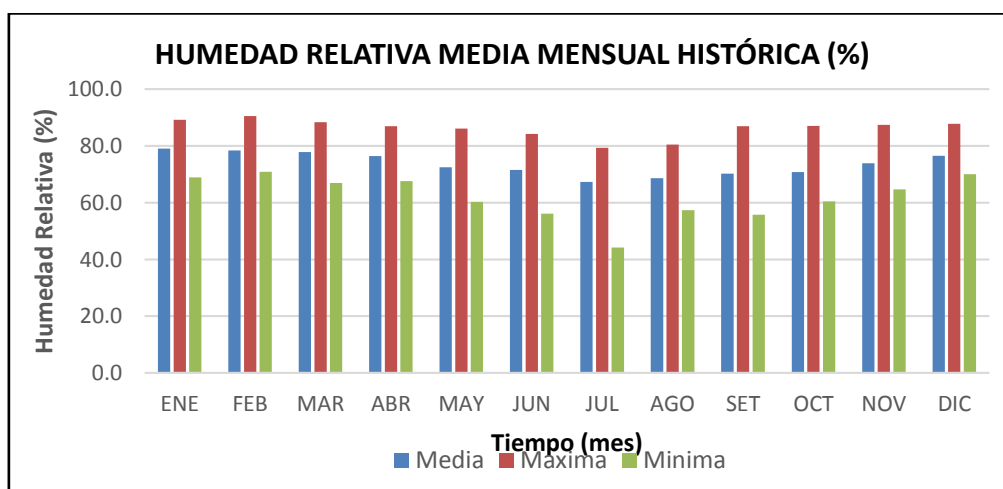
Para el siguiente parámetro se ha tomado en cuenta los valores de la Estación Chala, en la cual se presenta una Humedad Relativa mínima registrada de 61.9 %, la humedad promedio registrada es de 73.6 % y la humedad relativa máxima registrada es de 86.2 %, esta variación es mostrada a continuación en la siguiente tabla:

Registros de la Humedad Relativa

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | PROM |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Media | 79.0 | 78.3 | 77.8 | 76.4 | 72.4 | 71.5 | 67.3 | 68.6 | 70.2 | 70.8 | 73.9 | 76.5 | 73.6 |
| Maxima | 89.2 | 90.5 | 88.3 | 86.9 | 86.1 | 84.2 | 79.3 | 80.4 | 86.9 | 87.0 | 87.4 | 87.8 | 86.2 |
| Minima | 68.9 | 70.9 | 66.9 | 67.6 | 60.2 | 56.1 | 44.2 | 57.3 | 55.7 | 60.4 | 64.7 | 70.0 | 61.9 |
| Desv. Est. | 5.2 | 5.4 | 5.4 | 4.6 | 5.6 | 5.8 | 7.7 | 6.1 | 6.8 | 5.9 | 5.2 | 4.4 | 5.7 |

Fuente: SENAMHI.

Variación de la humedad relativa



Fuente: SENAMHI.

Velocidad de viento

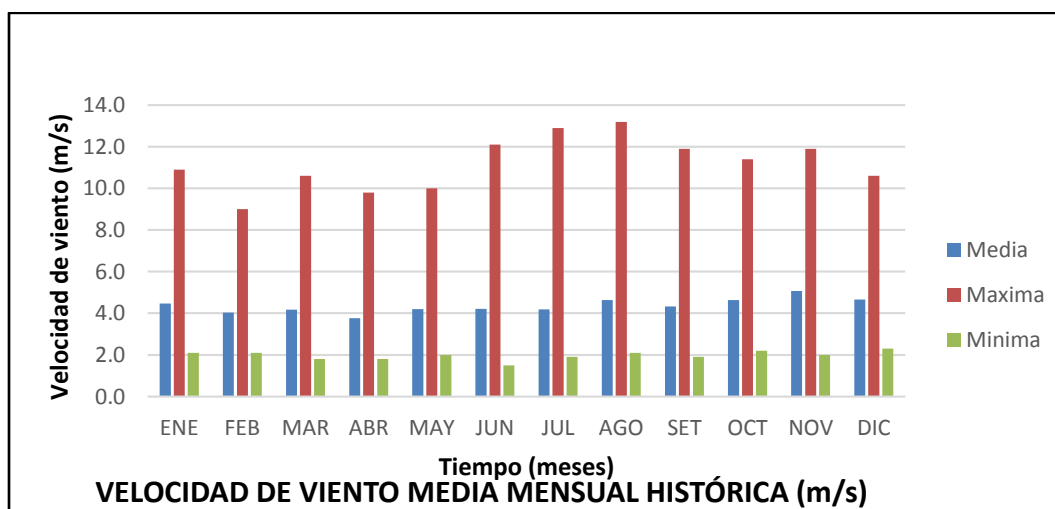
Para el desarrollo de este parámetro se ha tomado en consideración la velocidad y dirección del viento, registrado en la estación de Chala. En general para un año promedio, la distribución de la velocidad media del viento varía entre 1.8 a 2.1 m/s, con una dirección preferente de S y W; presentados en la siguiente tabla y en la siguiente figura, como su respectivo gráfico de variación mensual en m/s.

Registros de la velocidad del viento

| AÑO | EN | FEB | MA | ABR | MA | JUN | JUL | AG | SET | OCT | NO | DIC | PRO |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| MEDIA | 1.8 | 1.9 | 2 | 2.1 | 1.9 | 2 | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.9 |
| MÁXIM | 3.6 | 3.6 | 4.6 | 4.3 | 3 | 4.4 | 4.1 | 4.3 | 3.6 | 4.6 | 3.8 | 4.6 | 4.6 |
| MÍNIM | 1 | 0.8 | 0.6 | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | 1 | 1.2 | 0.6 |
| DESV. | 0.6 | 0.8 | 1.1 | 1.1 | 0.6 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.9 | 0.6 | 0.7 | 0.7 |

Fuente: SENAMHI.

Variación de la Velocidad de Viento (m/s)



Fuente: SENAMHI.

Evapotranspiración potencial

Ante la dificultad de cuantificar por separado la evaporación física (evaporación) y la evaporación biológica (transpiración), y desde un punto de vista de las necesidades en hidrogeología, se hace necesario acudir a un concepto de evapotranspiración, que alude a la suma de ambos; es decir, sería el conjunto del agua que pasa al estado de vapor, sea por fenómenos físicos o a través de las plantas.

Thornthwaite (1948) introdujo el concepto de evapotranspiración potencial, que definió como “la cantidad de agua que pasaría al estado de vapor en una superficie cubierta de vegetación en crecimiento activo, de existir en el suelo suficiente humedad para su uso máximo por las plantas”. Dado que raramente esto se cumple, se hace necesario acudir al concepto de evapotranspiración real, que alude a la cantidad de agua evapotranspirada en realidad, la cual nunca podrá superar en el valor a la evapotranspiración potencial (podría ser a lo sumo igual). Adicionalmente la evapotranspiración potencial, es un elemento importante dentro del balance hídrico, debido a que es el principal parámetro responsable del déficit hidrológico.

Son muy numerosos los métodos aplicables para determinar la evapotranspiración potencial. Las fórmulas empíricas son muy empleadas pues requieren, en general, datos de partida asequibles. Así, numerosos científicos de todo el mundo, han trabajado sobre este tema aportando un sin número de fórmulas matemáticas; pero ninguno de estos métodos provee una solución completamente adecuada a los problemas de evapometría, dado que ninguno está libre de suposiciones, constantes arbitrarias o dificultades técnicas de observación y medición.

A pesar de las deficiencias, un número de trabajadores ha sostenido que estos métodos permiten al climatólogo estimar la evapotranspiración total con una mayor exactitud que lo que pueda lograr los especialistas en suelos, midiéndola.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se aplicó el método Thornthwaite, que, a pesar de su simplicidad y las limitaciones obvias del método, funciona bien para las regiones húmedas. La formulación del método Thornthwaite es la siguiente:

Se calcula un “índice de calor mensual” (i) a partir de la temperatura media mensual (t) como se muestra en esta fórmula:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Se calcula el “índice de calor anual (I) sumando los 12 valores de i :

$$I = \sum i$$

Se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{\text{sin corr.}} = 16 * \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a$$

Dónde:

$ETP_{\text{sin corr.}}$ = ETP mensual en mm/mes sin corregir

T = temperatura media mensual, °C

I = índice de calor anual, sumando los 12 valores de i

Corrección para la evapotranspiración potencial:

$$ETP = ETP_{\text{sin corr.}} * k$$

Dónde:

K = es un factor de corrección de la duración del día, dependiendo del mes y de la latitud, los valores son asumidos de tablas.

Latitud = 15° 25' 07"

Tabla de factor de corrección según la latitud de la zona de estudio

| LAT | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 15 | 12.9 | 12.6 | 12.2 | 11.8 | 11.4 | 11.2 | 11.3 | 11.6 | 12 | 12.5 | 12.8 | 13 |
| 15.42 | 12.93 | 12.62 | 12.24 | 11.76 | 11.32 | 11.08 | 11.18 | 11.56 | 12.00 | 12.54 | 12.92 | 13.12 |
| 20 | 13.2 | 12.8 | 12.3 | 11.7 | 11.2 | 10.9 | 11 | 11.5 | 12 | 12.6 | 13.1 | 13.3 |

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla siguiente se muestra el cálculo de la evapotranspiración potencial para la microcuenca Tres Marías, en el cual se muestra la variabilidad a lo largo del año de la evapotranspiración potencial total mensual, el máximo valor es de 87.42 mm en el mes de diciembre y una mínima de 30.90 mm en el mes de septiembre. La evapotranspiración potencial promedio anual es de 750.52 mm.

Cálculo de la evapotranspiración potencial de la microcuenca Tres Marías

| Evapotranspiración potencial | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|------------------|---------------------|
| Meses | Temperatura (°C) | índice mensual | ETPsc (mm/mes) | N | # de días | ETP (mm/mes) |
| Enero | 17.96 | 6.93 | 71.8 | 12.93 | 31 | 79.86 |
| Febrero | 17.79 | 6.83 | 70.7 | 12.62 | 28 | 69.35 |
| Marzo | 18.08 | 7.00 | 72.5 | 12.24 | 31 | 76.42 |
| Abril | 18.29 | 7.12 | 73.9 | 11.76 | 30 | 72.41 |
| Mayo | 18.27 | 7.11 | 73.8 | 11.32 | 31 | 71.91 |
| Junio | 15.71 | 5.66 | 57.8 | 11.08 | 30 | 53.33 |
| Julio | 13.40 | 4.45 | 44.6 | 11.18 | 31 | 42.97 |
| Agosto | 11.68 | 3.61 | 35.7 | 11.56 | 31 | 35.58 |
| Septiembre | 10.68 | 3.15 | 30.9 | 12.00 | 30 | 30.90 |
| Octubre | 13.92 | 4.71 | 47.5 | 12.54 | 31 | 51.28 |
| Noviembre | 18.22 | 7.08 | 73.4 | 12.92 | 30 | 79.09 |
| Diciembre | 18.82 | 7.44 | 77.4 | 13.12 | 31 | 87.42 |
| índice de calor anual | | 71.12 | ETP anual | | | 750.52 |
| a | | 1.62 | | | | |

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.4 Análisis de precipitación extrema

El área de estudio, no cuenta con registros de precipitación máxima en 24 horas, debido a esta limitante se analizó la precipitación máxima en 24 horas registrada en otras estaciones, debido a que presenta similitudes hidrológicas y sobre todo por la cercanía a la zona en estudio, información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica (SENAMHI).

Precipitación Máxima Anual en 24 Horas (mm)

| Año | Chaparra | Caraveli |
|------|----------|----------|
| 1965 | 5.50 | 10.00 |
| 1966 | 0.90 | 0.00 |
| 1967 | 2.90 | 14.00 |
| 1968 | 6.90 | 29.00 |
| 1969 | 8.60 | 7.00 |
| 1970 | 2.20 | 19.60 |
| 1971 | 0.20 | 4.50 |
| 1972 | 5.00 | 19.30 |
| 1973 | 3.60 | 7.30 |
| 1974 | 1.30 | 4.30 |
| 1975 | 3.20 | 4.00 |
| 1976 | 6.00 | 30.00 |
| 1977 | 3.00 | 5.70 |
| 1978 | 0.00 | 0.50 |
| 1979 | 0.00 | 10.10 |
| 1980 | 0.00 | 5.30 |
| 1981 | 0.00 | 23.00 |
| 1982 | - | 2.50 |
| 1983 | - | 2.80 |
| 1984 | - | 22.70 |
| 1985 | - | 2.00 |
| 1986 | - | 11.30 |
| 1987 | - | 2.20 |
| 1988 | - | 8.40 |
| 1989 | - | 12.50 |
| 1990 | - | 6.50 |
| 1991 | - | 3.25 |
| 1992 | - | 0.85 |
| 1993 | - | 2.00 |
| 1994 | 0.20 | 11.00 |
| 1995 | - | 15.20 |
| 1996 | - | 1.90 |
| 1997 | - | 33.00 |
| 1998 | - | 18.50 |
| 1999 | - | 7.10 |
| 2000 | 1.30 | 15.60 |
| 2001 | 1.30 | 11.50 |
| 2002 | 6.50 | 13.70 |
| 2003 | 1.20 | 0.00 |
| 2004 | 14.00 | 1.50 |
| 2005 | 4.50 | 16.50 |
| 2006 | 0.90 | 4.20 |
| 2007 | 1.60 | 2.60 |
| 2008 | 3.40 | 5.00 |
| 2009 | 2.00 | 9.10 |
| 2010 | 1.20 | 1.30 |
| 2011 | 5.50 | 7.20 |
| 2012 | 0.90 | 20.80 |
| 2013 | 2.90 | 8.10 |
| 2014 | 6.90 | 2.20 |

Fuente: Elaboración Propia.

Precipitación máxima en 24 horas para distintos periodos de retorno

El estudio de avenidas tiene por finalidad determinar las descargas máximas para un periodo de retorno de 5, 20, 30, 50, 75, 100, 200, 500 y 1000 años servirá para el diseño de las obras de manejo de aguas, para ello se utilizó la información meteorológica de precipitación máxima en 24 horas de la estación de Chala y la estación de Lomas.

Para determinar la precipitación máxima en 24 horas se utilizaron las distribuciones: Normal, Log Normal, Pearson, Log Pearson, Gumbel y Log Gumbel, para elegir la distribución que mejor se ajusta a los datos de la estación analizada, se utilizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, para ello se empleó el software HidroEsta, donde se obtuvo, que el modelo Gumbel, es el más adecuado, debido a que presenta menor delta teórico, respecto a otros modelos.

A) Modelos Probabilísticos

Modelo Probabilístico Gumbel

Este modelo Probabilístico es la distribución de los valores externos, de tipo doblemente exponencial, cuya expresión matemática es:

$$P(X \leq x) = e^{-e^{-w}}$$

$$P(X > x) = \frac{1}{T} = 1 - P(X \leq x)$$

$$w = \alpha(x - \beta)$$

Dónde:

P : Probabilidad

T : Periodo de retorno

X : Variable aleatoria

X : Valor de la variable aleatoria

w : Variable reducida

α, β : Parámetro de la distribución de valores externos Tipo I

Los parámetros α (coeficiente de dispersión), β (moda), se pueden estimar empleando el método de estimación de momentos resultando:

$$\beta = \bar{x} - 0.45005\sigma_x$$

$$\alpha = \frac{1.28255}{\sigma_x}$$

La ecuación (1) expresa una probabilidad de que el suceso no ocurra. En este caso el periodo de retorno (T) se calcula, mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{1 - P(X \leq x)}$$

En la práctica se tienen muestras de tamaño limitado, en esos casos las ecuaciones (3) y (4) no pueden ser estrictamente aplicables. Gumbel aplicando el análisis de mínimos cuadrados a la ecuación (3), propone usar:

$$\beta = \bar{x} - \frac{\sigma_x}{\sigma_n} \bar{x}_n$$

$$\alpha = \frac{\sigma_n}{\sigma_x}$$

Dónde:

X : Media

σ_x : Desviación estándar

σ_n : Desviación estándar de la variable reducida

\bar{x}_n : Promedio aritmético de la variable reducida

σ_n , y \bar{x}_n se obtienen de la tabla recomendado por Machado

De la ecuación (3), se obtiene.

$$\hat{X} = \frac{w}{\alpha} + \beta$$

Dónde:

\hat{X} : Valor ajustado a la distribución Gumbel

Reemplazando las ecuaciones (7) y (8) en (3) se obtiene:

$$\hat{X} = \bar{x} + \frac{\sigma_x}{\sigma_n} (w - \bar{x}_n)$$

El valor de la variable reducida w , se obtiene de la ecuación (1), asumiendo un tiempo de retorno, a una probabilidad $P(X \leq x)$.

Modelo Probabilístico Gamma de 3 Parámetros o Pearson Tipo III

La solución de la ecuación diferencial:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(a+x)y}{b_0 + b_1x + b_2x^2}$$

Son las llamadas curvas de Pearson.

La forma de la curva depende de la discriminante.

$$b^2 - 4b_0b_2 = 4b_0b_2 \left(\frac{b_1^2}{4b_0b_2} - 1 \right)$$

Si llamamos:

$$K = \frac{b_1^2}{4b_0b_2}$$

La forma que adopta la curva depende del valor de K. En hidrología la que tiene mayor importancia es la distribución Pearson Tipo III, donde $K \rightarrow \infty$, cuya solución es:

$$y = y_0 e^{-x} \left(1 + \frac{x}{a}\right)^a$$

La función de distribución de la Distribución Pearson III está definida:

$$X_0 \leq x < \infty \quad -\infty < y < \infty$$

$$0 < \beta < \infty \quad 0 < \delta < \infty$$

Haciendo cambio de variable, se tiene:

$$y = (X - X_0) / \beta$$

Reemplazando (15) en (14), se obtiene:

$$f(y) = \frac{y^{\delta-1} e^{-y}}{\Gamma(\delta)}$$

$$Fy = P(y \leq y_0) = \int_0^{y_0} \frac{y^{\delta-1} e^{-y}}{\Gamma(\delta)}$$

Los parámetros estimados por el método de momentos son:

$$E(x) = \mu = X_0 + \beta\delta \quad (\text{Media})$$

$$E(x - \mu)^2 = \sigma^2 = \beta^2 \delta \quad (\text{Variancia})$$

$$g = \frac{2}{\sqrt{\delta}} \quad (\text{Sesgo})$$

La ecuación (17) se resuelva usando tablas de distribución acumulada Gamma, para lo cual se considera $\beta=1$. Donde es necesario calcular los siguientes valores:

$$G.L = 2\delta$$

$$X^2 = \frac{2x}{\beta} = 2x$$

Dónde:

G.L. : Grados de Libertad

Por tanto:

$$\hat{X} = \beta y + X_0$$

Modelo Probabilístico Normal

La distribución normal, es simétrica con respecto a la media y no ha sido muy usada en análisis de frecuencias de avenidas, puesto que la mayoría de las series de avenidas tiene un sesgo positivo. Sin embargo, se ha encontrado apropiada para ciertas series de eventos de descargas y niveles de agua.

La función de distribución de probabilidades está dada por:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

Dónde:

μ : media de la muestra

σ : desviación estándar de la muestra

Considerando la variable estandarizada:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$F(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Modelo Probabilístico Log Normal de 3 Parámetros (3LN)

Esta variante de la distribución Log Normal, podrá ser usada cuando la transformada presenta un sesgo significativo.

La función de distribución de probabilidades está dada por:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int \frac{1}{(x-a)\sigma} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x-a)-\mu}{\sigma} \right]^2} dx$$

La variable estandarizada está dada por:

$$z = \frac{\ln(x - a) - \mu}{\sigma}$$

B) Pruebas de Bondad de Ajuste

Para la selección del modelo Probabilístico adecuado se emplean el método gráfico y estadístico.

Método Gráfico

Para verificar si el modelo Probabilístico propuesto es adecuado para los datos observados, se pueden usar métodos gráficos, para lo cual se utiliza la función de densidad de probabilidad, o la distribución acumulada. Ambos gráficos permiten visualizar el grado de ajuste de los datos con el modelo y es indicador de las zonas en las cuales el ajuste es deficiente. El modelo gráfico es un indicador aproximado del ajuste y se puede utilizar en estudios preliminares.

Método Estadístico

Dentro de los métodos estadísticos existen: la prueba de bondad de ajuste de Chi-Cuadrado, la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba del error mínimo cuadrático. Para el presente trabajo se ha utilizado el método de Kolmogorov-Smirnov.

La prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov, consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D que hay entre la función de distribución observada $F_o(Q_m)$ y la estimada $F(Q_m)$.

$$D = \max |F_o(Q_m) - F(Q_m)|$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. Si $D < d$, se acepta la hipótesis. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba Chi-Cuadrado de que se compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(Q_m) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Dónde:

M : Es el número de orden del dato Q_m en una lista de mayor a menor

n : Es el número total de datos.

Valores Críticos Para la Prueba Kolmogorov –Smirnov

| TAMAÑO DE LA MUESTRA | $\alpha=0.10$ | $\alpha=0.05$ | $\alpha=0.01$ |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 5 | 0.51 | 0.56 | 0.67 |
| 10 | 0.37 | 0.41 | 0.49 |
| 15 | 0.3 | 0.34 | 0.4 |
| 20 | 0.26 | 0.29 | 0.35 |
| 25 | 0.24 | 0.26 | 0.32 |
| 30 | 0.22 | 0.24 | 0.29 |
| 35 | 0.19 | 0.21 | 0.25 |
| $N > 35$ | $1.22/\sqrt{n}$ | $1.36/\sqrt{n}$ | $1.63/\sqrt{n}$ |

Fuente: ACOMISA.

Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov-Smirnov

La prueba de ajuste se ha realizado mediante la prueba estadística Kolmogorov-Smirnov, para las distribuciones probabilísticas: Normal, Log Normal, Pearson, Log Pearson, Gumbel y Log Gumbel. De acuerdo a un análisis de consistencia de información pluviométrica por estaciones se determinó a la estación Chaparra y Caravelí como estaciones bases para la generación de precipitaciones máximas en 24 horas en los diversos tiempos de retorno.

La estimación de las precipitaciones extremas en el área de interés, se ha realizado tomando como base los registros de precipitación máxima diaria ocurrida en cada año de registro de las estaciones bases. Para el análisis de frecuencia de precipitación máxima diaria se ha seleccionado a la Distribución Gumbel, considerando que brinda un buen ajuste para valores meteorológicos.

Prueba Kolmogorov –Smirnov

| Estación : Chaparra | | | | | |
|--|---------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------|
| Pruebas De Bondad | Normal | Log Normal 2 Parámetros | Log-Pearson tipo III | Gumbel | Log Gumbel |
| Delta Calculado (Δ) | 0.0995 | 0.0881 | SD | 0.0773 | 0.1095 |
| Delta Tabular (Δ_0) | 0.2267 | 0.2267 | SD | 0.2267 | 0.2267 |
| Los datos se ajustan a la distribución (Si $\Delta_0 > \Delta$) | SI | SI | NO | SI | SI |
| Estación : Caravelí | | | | | |
| Pruebas De Bondad | Normal | Log Normal 2 Parámetros | Log-Pearson tipo III | Gumbel | Log Gumbel |
| Delta Calculado (Δ) | 0.1795 | 0.0919 | 0.07598 | 0.1217 | 0.0867 |
| Delta Tabular (Δ_0) | 0.1923 | 0.1923 | 0.1923 | 0.1923 | 0.1923 |
| Los datos se ajustan a la distribución (Si $\Delta_0 > \Delta$) | SI | SI | SI | SI | SI |

Fuente: ACOMISA.

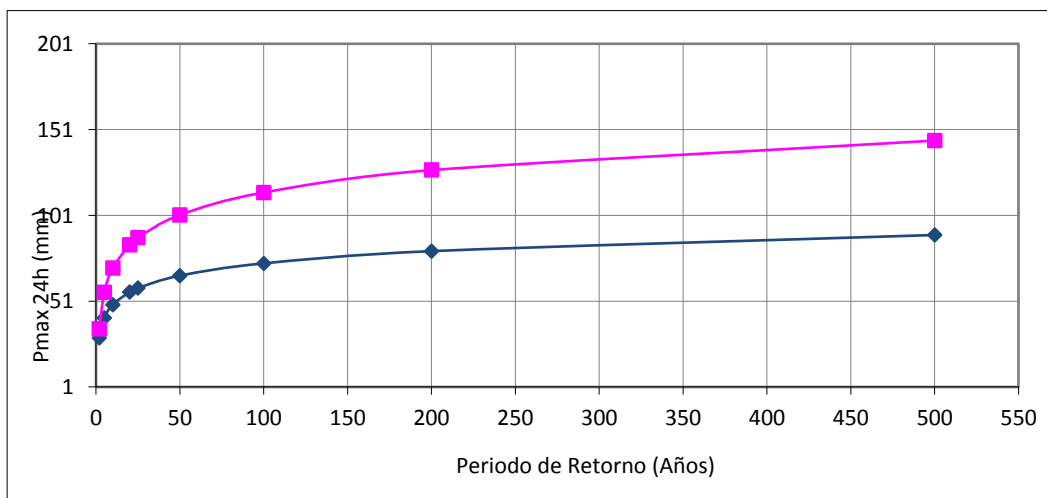
Resumen de Prueba de Bondad

| ESTACION | SE AJUSTA EL MODELO | | | | |
|----------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|---------------|
| | Normal | Log Normal 2 Parámetros | Log- Pearson tipo III | Gumbel | Log Gumbel |
| Chaparra | SI | SI | NO | SI | SI |
| Caravelí | SI | SI | SI | SI | SI |

Fuente: ACOMISA.

Según la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se aceptarían las distribuciones probabilísticas Normal, Log Normal de 2 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gumbel y Log Gumbel, por cuanto el delta calculado es menor al delta tabular, todas consideradas dentro de un nivel de significancia $\alpha=0.05$. Se realizó un análisis del crecimiento de la precipitación máxima media diaria con el periodo de retorno de las estaciones agrupadas en la microcuenca Tres Marías.

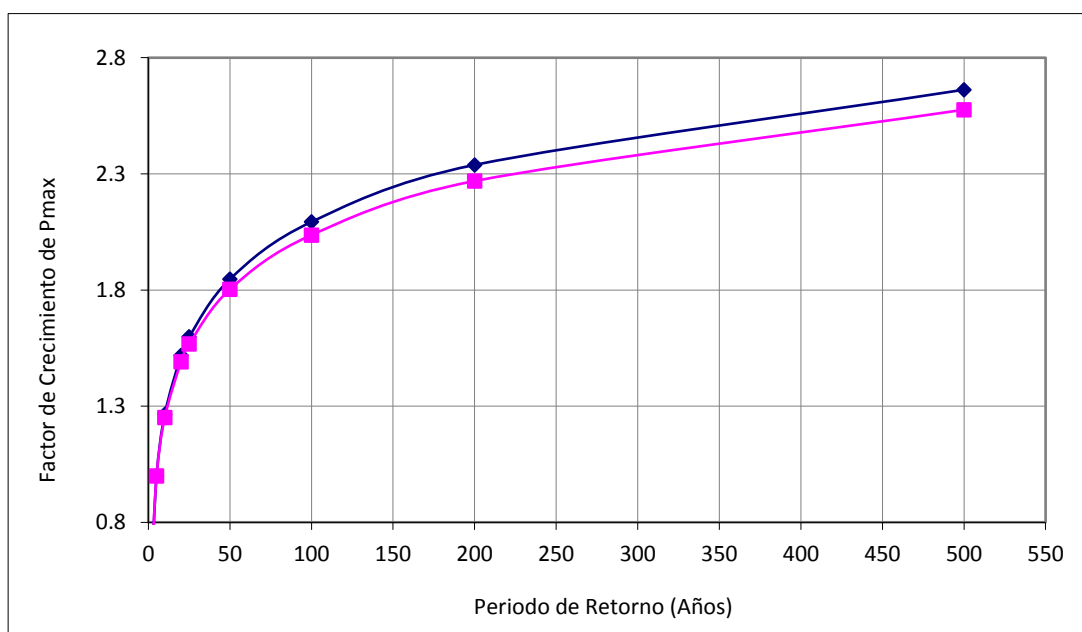
Distribución Gumbel de las Estaciones Pluviométricas



Fuente: Propia.

Se observa que los valores mayores del factor de crecimiento con el periodo de retorno para la precipitación son registrados para los puntos de observación con mayor altitud. Los resultados de estos análisis se muestran en el siguiente gráfico.

Factor de crecimiento de Precipitaciones Máximas



Fuente: Elaboración Propia.

Los registros de precipitación máxima diaria han sido obtenidos mediante pluviómetros, con lecturas una vez por día, lo que puede provocar normalmente que se mida entre valores máximos, subestimando el valor real de la precipitación máxima de 24 horas. Para tomar en cuenta este efecto, los valores obtenidos del análisis de frecuencias deben ser afectados por un factor K (1.12) antes de su aplicación para estimar la verdadera magnitud de la precipitación máxima en 24 horas.

La precipitación máxima diaria para diferentes tiempos de retorno del área de estudio, se presenta en la siguiente tabla:

En este se muestra la precipitación máxima en 24 horas para diferentes tiempos de retorno, así como los límites de confianza para un nivel de significación de 5%.

Precipitación Máxima en 24 horas

| Periodo de retorno (años) | Precipitaciones Máximas en 24 hr. (mm) |
|--------------------------------------|---|
| 10 | 2.39 |
| 20 | 2.84 |
| 30 | 3.09 |
| 50 | 3.42 |
| 75 | 3.67 |
| 100 | 3.85 |
| 200 | 4.29 |
| 500 | 4.62 |

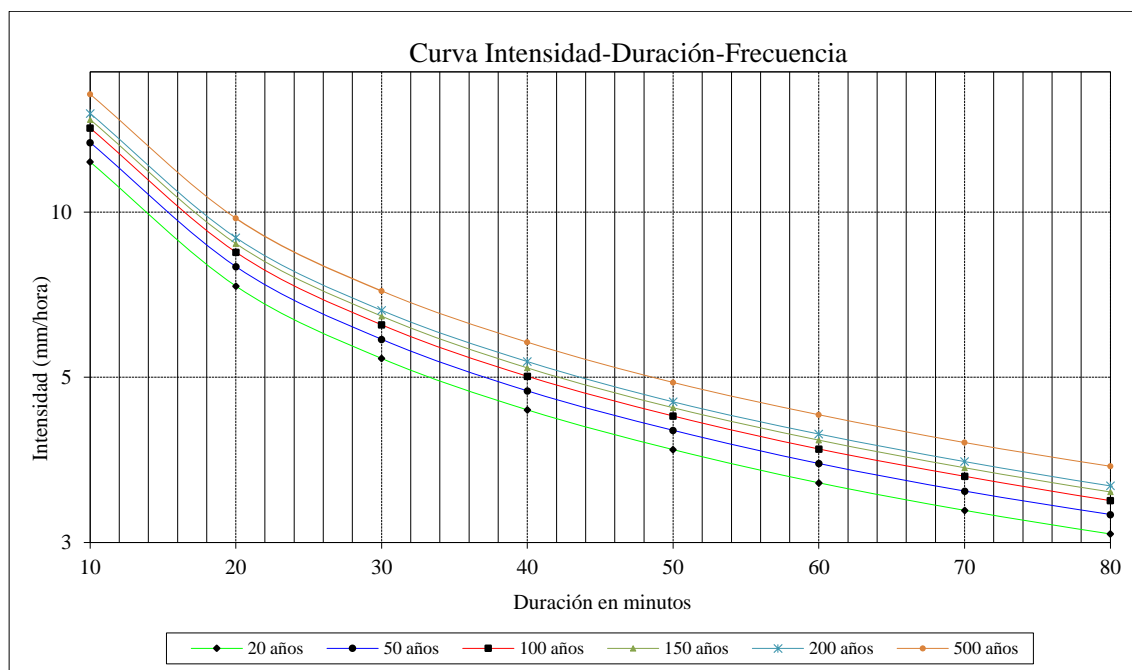
Fuente: Elaboración Propia.

Intensidades Máximas Horarias (mm/hr)

| Duración (t) (minutos) | Período de Retorno (T) en años | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 500 |
| 10 | 3.26 | 3.27 | 3.27 | 3.28 | 3.28 | 3.29 |
| 20 | 2.64 | 2.64 | 2.64 | 2.64 | 2.64 | 2.64 |
| 30 | 2.23 | 2.23 | 2.23 | 2.23 | 2.23 | 2.23 |
| 40 | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 | 1.95 |
| 50 | 1.73 | 1.74 | 1.74 | 1.74 | 1.74 | 1.74 |
| 60 | 1.56 | 1.57 | 1.57 | 1.57 | 1.57 | 1.57 |
| 70 | 1.43 | 1.44 | 1.44 | 1.44 | 1.44 | 1.44 |
| 80 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 |
| 90 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.24 |
| 100 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.16 | 1.16 |
| 110 | 1.12 | 1.12 | 1.13 | 1.13 | 1.13 | 1.13 |
| 120 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |

Fuente: Elaboración Propia.

Curvas IDF subcuena en estudio



Fuente: Elaboración Propia.

Caudal de diseño

Para determinar el caudal de diseño se aplicará el método racional, este método puede ser aplicado para áreas que no excedan los 13 km².

La fórmula aplicar es la siguiente:

$$Q = \frac{C * I * Ap}{3.6}$$

Q = Caudal instantáneo máximo de diseño para un periodo de retorno (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía directa asociada al periodo de retorno y suelo de la zona (%)

I = Intensidad media de la lluvia asociada al periodo de retorno y a una duración igual al tiempo de concentración de la zona pluvial (mm/h)

Ap = Área aportante (km²)

Valores Coeficientes de escorrentía – Método Racional

| Cobertura Vegetal | Tipo de suelo | Pendiente del terreno | | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------|-------|-------|-------|--------------|
| | | Pronunciada | Alta | Media | Suave | Despreciable |
| | | > 50% | > 20% | > 5% | > 1% | < 1% |
| Sin vegetación | Impermeable | 0.8 | 0.75 | 0.7 | 0.65 | 0.6 |
| | Semipermeable | 0.7 | 0.65 | 0.6 | 0.55 | 0.5 |
| | Permeable | 0.5 | 0.45 | 0.4 | 0.35 | 0.3 |
| Cultivos | Impermeable | 0.7 | 0.65 | 0.6 | 0.55 | 0.5 |
| | Semipermeable | 0.6 | 0.55 | 0.5 | 0.45 | 0.4 |
| | Permeable | 0.4 | 0.35 | 0.3 | 0.25 | 0.2 |
| Pastos, vegetación ligera | Impermeable | 0.65 | 0.6 | 0.55 | 0.5 | 0.45 |
| | Semipermeable | 0.55 | 0.5 | 0.45 | 0.4 | 0.35 |
| | Permeable | 0.35 | 0.3 | 0.25 | 0.2 | 0.15 |
| Hierba, grama | Impermeable | 0.6 | 0.55 | 0.5 | 0.45 | 0.4 |
| | Semipermeable | 0.5 | 0.45 | 0.4 | 0.35 | 0.3 |
| | Permeable | 0.3 | 0.25 | 0.2 | 0.15 | 0.1 |
| Bosques, densa vegetación | Impermeable | 0.55 | 0.5 | 0.45 | 0.4 | 0.35 |
| | Semipermeable | 0.45 | 0.4 | 0.35 | 0.3 | 0.25 |
| | Permeable | 0.25 | 0.2 | 0.15 | 0.1 | 0.05 |

Fuente: MTC.

La pendiente del terreno donde se emplazará el depósito de relaves se ha considerado una pendiente >5% y un tipo de suelo permeable, por tal motivo, el coeficiente de escorrentía será de 0.4. El caudal de diseño para los canales de coronación se muestra en la siguiente tabla. Donde se ha determinado caudales de diseño para los canales de coronación en tormentas de 24 horas para 100 años de periodo de retorno.

Caudal de diseño para los canales perimetrales futuros

| Estructura | Tr (años) | C (%) | Ap (km²) | I (mm/h) | Q (m³/s) |
|----------------------------|------------------|--------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| Canal de coronación | 500 | 0.4 | 0.66 | 3.29 | 0.241 |
| Canal de coronación | 100 | 0.4 | 0.66 | 3.27 | 0.240 |

Fuente: ACOMISA.

4.4 Geología

Geología regional

La geología regional del área de estudio está comprendida por un basamento rocoso de rocas ígneas intrusivas pertenecientes al Batolito de Costa variando de granodioritas a tonalitas y a lo largo de las Quebradas Acaville y Tres Marías se encuentran los depósitos aluviales conformados litológicamente por arena suelta semiconsolidada, rodados y gravas además de los depósitos eólicos los cuales están conformados por arena.

Las rocas más antiguas reconocidas en el área de estudio pertenecen a la Superunidad Linga de composición monzonítica y la Formación Guaneros compuestas de areniscas y rocas volcánicas del Jurásico Superior hasta la Formación Millo del Terciario y los depósitos aluviales - eólicos del Cuaternario Reciente.

Para el desarrollo de la caracterización hidrogeológica, se ha utilizado como base el Mapeo Geológico del Cuadrángulo de Jaqui (31-ñ) y Chala (32-ñ), elaborado por el INGEMMET.

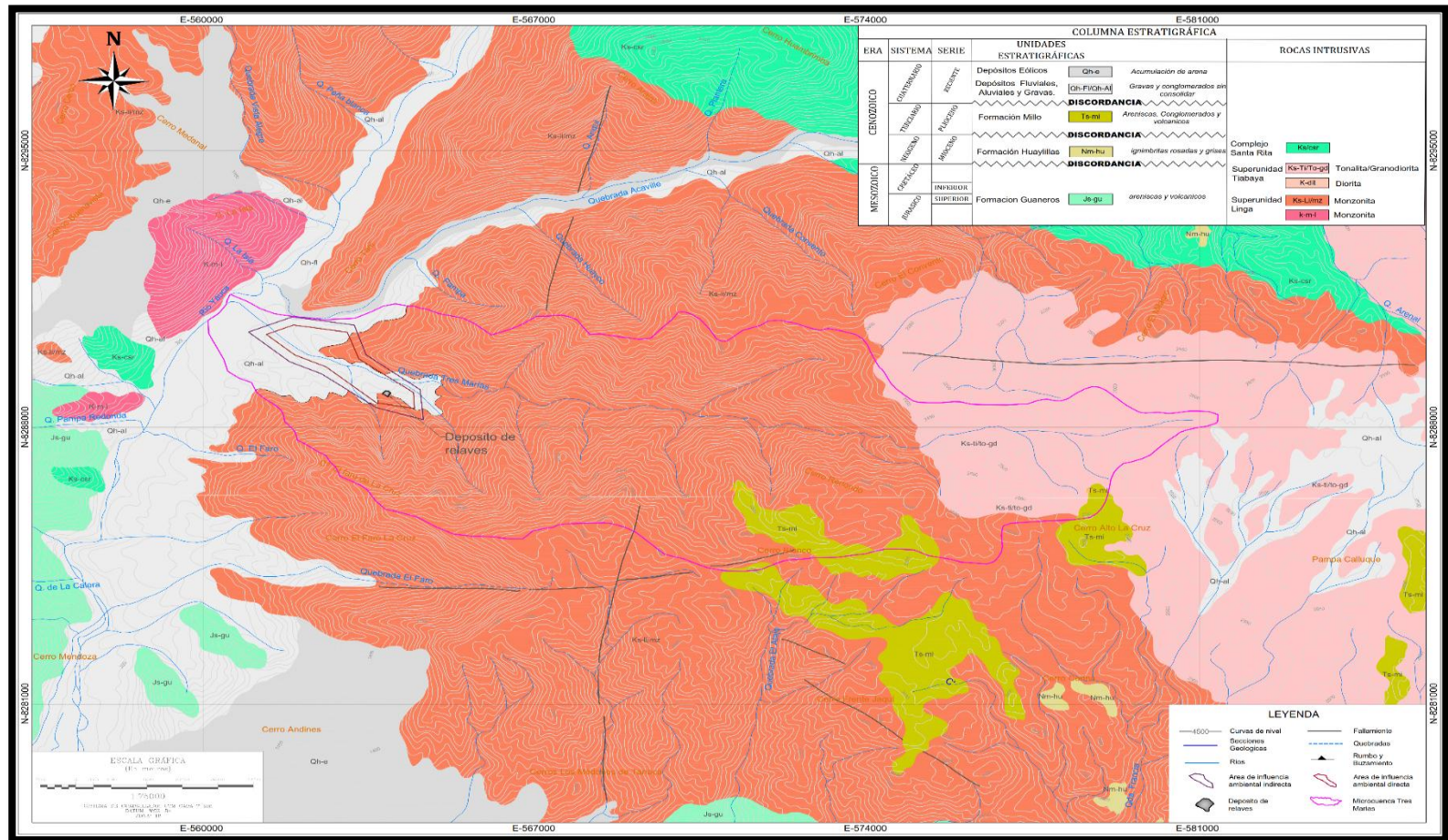
A continuación, se detallan los aspectos litológicos, estructurales y morfológicos más resaltantes de acuerdo a la información recolectada en la etapa de ampo y del análisis visual de la imagen satelital, siguiendo desde la unidad estratigráfica más antigua a la más reciente.

Columna Estratigráfica de la zona de Estudio

| COLUMNA ESTRATIGRÁFICA | | | | |
|------------------------|-------------|-----------------------------------|---|--|
| ERA | SISTEMA | SERIE | UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS | ROCAS INTRUSIVAS |
| CENOZOICO | CUATERNARIO | RECIENTE | Depósitos Eólicos Qh-e <i>Acumulación de arena</i> Depósitos Fluviales, Aluviales y Gravas. Qh-FI/Qh-AI <i>Gravas y conglomerados sin consolidar</i> | |
| | | ~~~~~~ DISCORDANCIA ~~~~~~ | | |
| | TERCIARIO | PLIOCENO | Formación Millo Ts-mi <i>Areniscas, Conglomerados y volcanicos</i> | |
| | | | ~~~~~~ DISCORDANCIA ~~~~~~ | |
| | NEOGENO | MIOCENO | Formación Huaylillas Nm-hu <i>ignimbritas rosadas y grises</i> | Complejo Santa Rita Ks/csr |
| | | | ~~~~~~ DISCORDANCIA ~~~~~~ | |
| MESOZOICO | CRETÁCEO | INFERIOR | | Superunidad Tiabaya Ks-Ti/To-gd Tonalita/Granodiorita K-dit Diorita |
| | | SUPERIOR | Formación Guaneros Js-gu <i>areniscas y volcanicos</i> | Superunidad Linga Ks-Li/mz Monzonita k-m-l Monzonita |

Fuente: INGEMMET.

Geología del área de Estudio

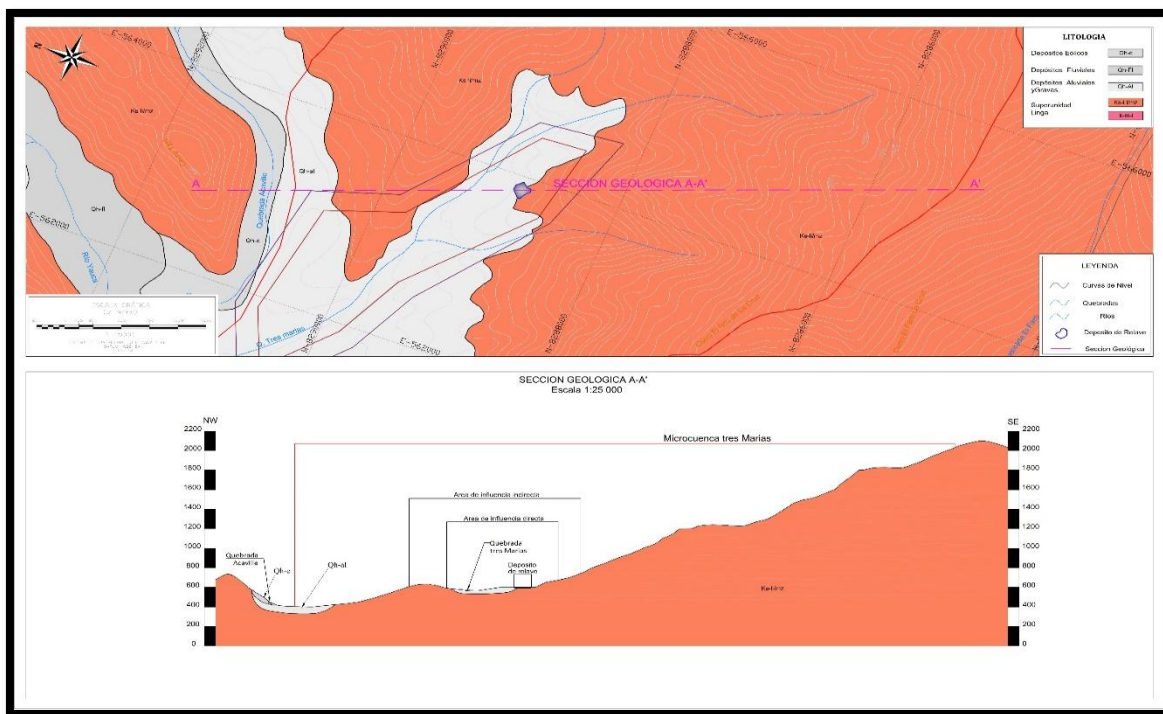


Fuente: INGENMMENT.

Secciones geológicas

Se han realizado tres secciones en diferentes direcciones para poder determinar mejor las unidades estratigráficas del depósito de relaves.

Sección Geológica A – A'

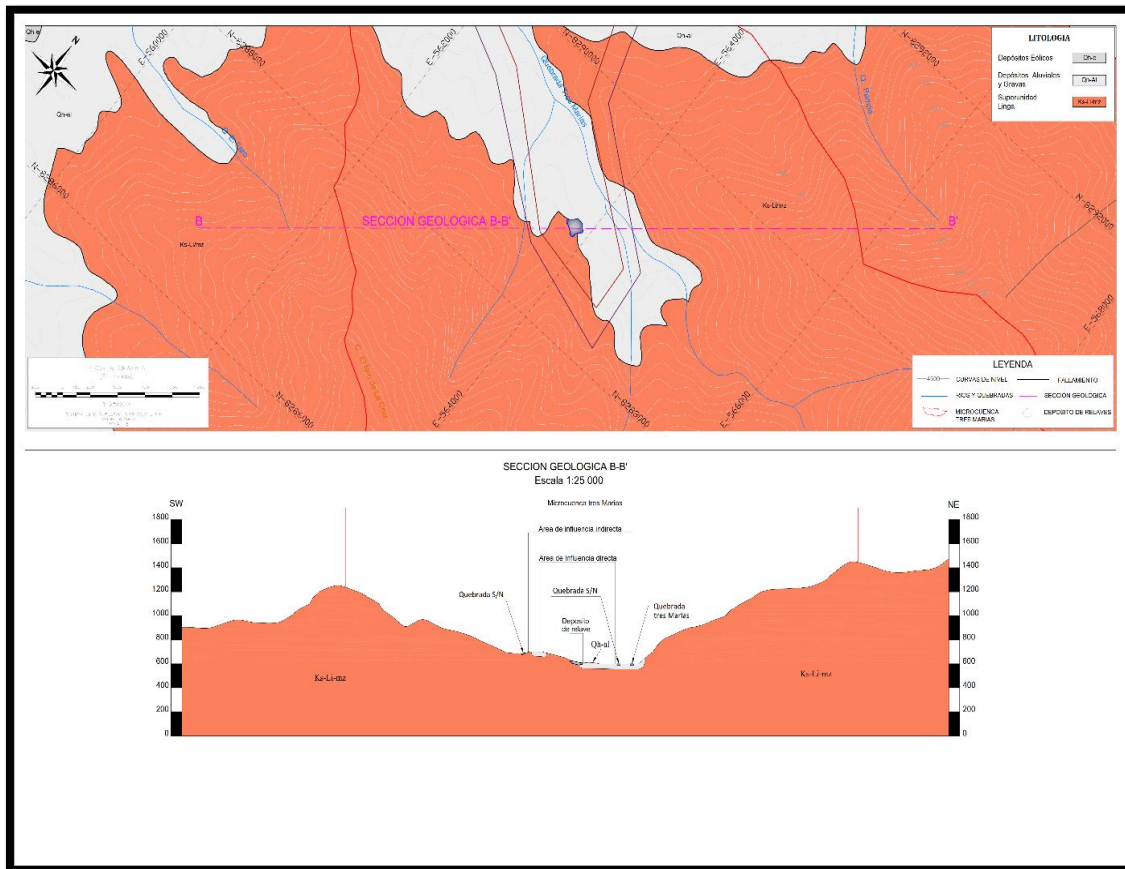


Fuente: INGEMMET

En la sección Geológica A - A', con ubicación NW – SE. Se puede observar que tenemos tres unidades litoestratigráficas que están compenetrados íntimamente con el depósito de relaves, comenzando con un basamento ígneo perteneciente a la Superunidad Linga.

De composición monzonítica y los depósitos cuaternarios, depósitos Eólicos, Aluviales, Fluviales.

Sección Geológica B – B'

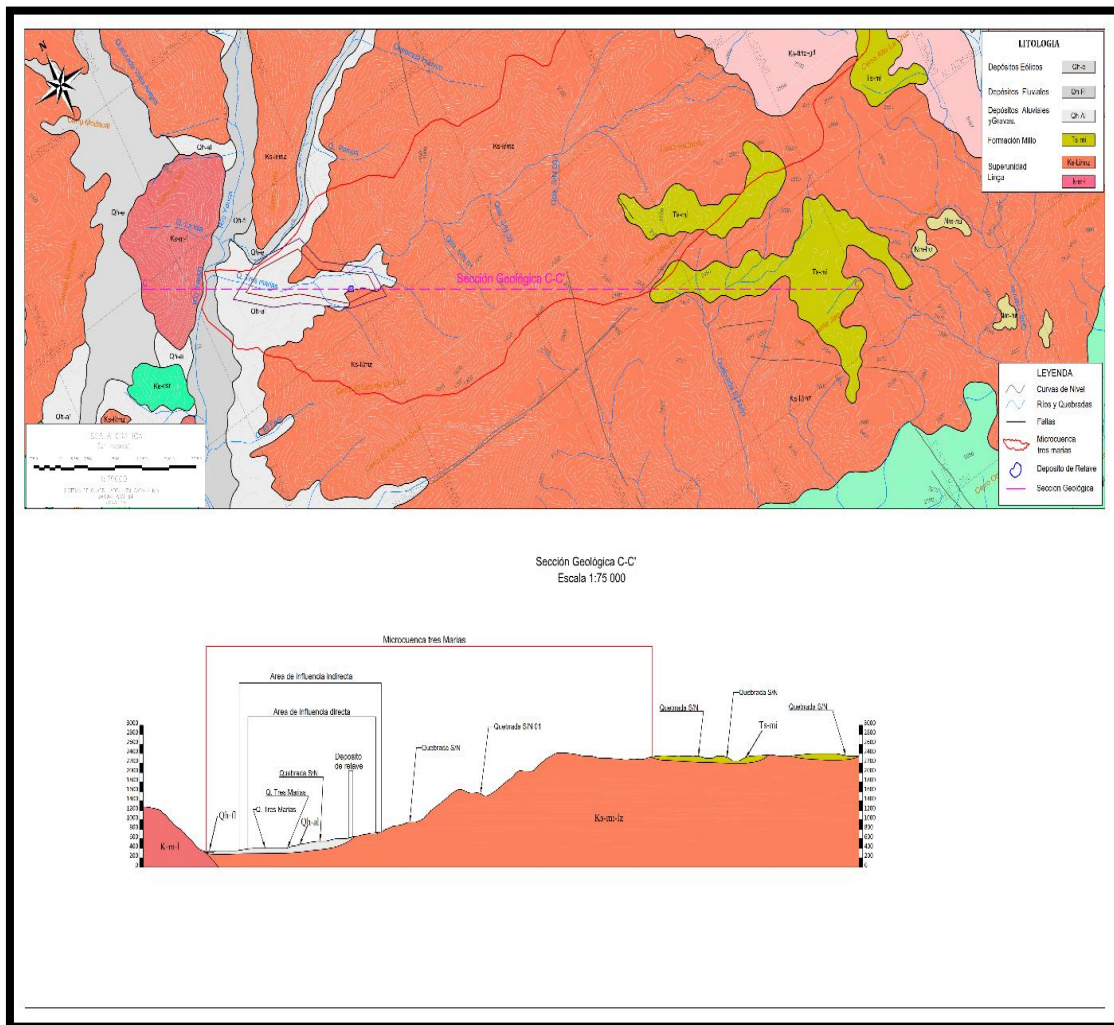


Fuente: INGEMMET.

En la sección Geológica B - B', con ubicación SW – NE. Se puede observar que tenemos tres unidades litoestratigráficas que están compenetrados íntimamente con el depósito de relaves, comenzando con un basamento ígneo perteneciente a la Superunidad Linga.

De composición monzonítica y los depósitos cuaternarios, depósitos Eólicos, Aluviales, Fluviales, además podemos observar a manera distal la Formación Millo, compuesta de roca volcánico Sedimentario, que no aparece en la presenta sección.

Sección Geológica C – C'



Fuente: INGEMMET.

En la sección Geológica C - C', con ubicación NW – SE, se puede observar que tenemos tres unidades litoestratigráficas que están compenetradas íntimamente con el depósito de relaves, comenzando con un basamento ígneo perteneciente a la Superunidad Linga, de composición monzonítica y los depósitos cuaternarios, depósitos Eólicos, Aluviales, Fluviales, además podemos observar a manera más distal la Formación Millo, compuesta de roca volcánico Sedimentario, que aparece en la presenta sección.

De esta manera se pueden comprobar que, la litología que está relacionada íntimamente con el depósito de relaves, está comprendida de materiales Aluviales, fluviales y Eólicos. Además, tiene un basamento rocoso Ígneo intrusivo, de composición monzonítica de la Superunidad Linga.

Geología estructural

Las estructuras del área están relacionadas principalmente con los movimientos tectónicos del ciclo andino. Las evidencias estructurales de las orogenias más antiguas están indicadas, en primer lugar, por el metamorfismo regional que afecta a las rocas del Complejo Basal de la Costa y por las discordancias angulares que ponen de manifiesto el ciclo hercínico, reconociéndose las fases eo y tardi-hercínicas.

Las principales zonas estructurales de la región se han diferenciado según la magnitud y el estilo de deformación que han sufrido las rocas debido en parte a su diferente naturaleza y a la variada intensidad de los esfuerzos que han actuado, materializados ellos por pliegues, fallas y diaclasas que se observan en todas estas zonas.

Según lo expuesto anteriormente, se ha dividido el área de oeste a este en varias zonas con características estructurales propias, así tenemos: Zona de Fallamiento en Bloques, Zona de Emplazamiento del Batolito, Zona Plegada y Zona Poco Deformada.

Zona de Fallamiento en Bloques

Está ubicada en el lado occidental del área de estudio y afecta principalmente a las formaciones paleozoicas y mesozoicas, separadas por una discordancia angular, y también al Complejo Basal de la Costa, con respecto a las unidades suprayacentes. Dichas formaciones no se hallan plegadas y adoptan una estructura homoclinal inclinada orientada hacia el N o NO. Esta inclinación, se debe más que nada, al efecto del fallamiento en bloques, que caracteriza a toda esta franja de los Andes.

Así, por ejemplo, el Eoceno de Ica no ha sido afectado compresivamente, pero se encuentra fallada.

Las formaciones continentales pliocénicas y pleistocénicas que cubren una superficie de erosión labrada sobre rocas más antiguas, tampoco están deformadas por plegamiento, pues mantienen una posición horizontal, estando afectadas, sólo por fallas debido a reactivación de antiguas fracturas.

Zona de Emplazamiento del Batolito de la Costa

Contemporáneamente y posterior a la formación de los pliegues afecta a la secuencia mesozoica-infra-terciaria, se produjo el emplazamiento del Batolito de la Costa que siguió una faja de debilidad cortical, consistente en un fracturamiento profundo y de dirección NO. Este proceso tuvo lugar entre el Cretáceo superior y el Terciario inferior.

El Batolito de la Costa está localizado entre la zona plegada y la zona de fallamiento en bloques, ocupando una ancha faja longitudinal que cruza los cuadrángulos estudiados, está constituido por una serie de grandes cuerpos plutónicos de diferente composición, los mismos que han producido un metamorfismo de contacto en las rocas encajonantes.

La intrusión batolítica no ha participado en la formación de pliegues y fallas. Al respecto BELOUSSOV (1971) dice: “Los Batolitos que intruyen en la corteza en grandes masas, no ejercen por lo general, una considerable influencia mecánica en las rocas circundantes”.

Zona Plegada

La zona plegada corresponde a la faja de mayor deformación compresiva, comprendida entre el Batolito y la zona poco deformada del este. Estructuralmente conforma lo que se denomina Sinclinorio de Parinacochas, compuesto por pliegues menores muy comprimidos que afectan principalmente a las formaciones mesozoicas, al mismo tiempo este gran cinturón comprimido corresponde al sector sudoccidental de la Deflexión de Abancay que estructuralmente también ha controlado en el Cuaternario, el desarrollo de una zona deprimida ocupada actualmente por la laguna de Parinacochas.

Una de las estructuras mayores del Sinclinorio de Parinacochas es el sinclinal de Pucaloma, desarrollado sobre rocas del Jurásico superior-Cretáceo inferior (Grupo Yura) y el Terciario inferior (formación Huanca) este último conforma el núcleo del sinclinal. El flanco occidental del sinclinorio afloran principalmente formaciones jurásicas y cretáceas, mientras que en el lado oriental predominan los miembros Aguas Verdes y Arenizo de la formación Arcurquina.

La tendencia estructural de la Zona Plegada varía desde N 60° - 70° O, pasando por N 10° O - 20° O, llega a tomar la dirección Este-Oeste. La deformación que afecta a la Zona Plegada se asume que es producto de la “Fase Incaica”.

Los pliegues del lado oriental son numerosos y bastante apretados a causa del plegamiento disarmónico, sobre todo los del miembro Arenizo, dada la naturaleza litológica, el poco espesor de los estratos, su contenido de yeso y por encontrarse entre formaciones más competentes.

Zona Poco Deformada

Esta zona corresponde en su mayor parte a las rocas volcánicas cenozoicas especialmente a la cubierta del Grupo Barroso, que exhibe una posición horizontal a sub-horizontal pero que muchas veces alcanza inclinaciones de 15°, debido solamente a la posición inicial del paleo relieve cubierto por estos volcánicos. En esta zona también afloran formaciones volcánicas del Terciario inferior y medio, donde se pone de manifiesto un leve plegamiento durante la “Fase Incaica”, mientras que la “Fase Quichuana” sólo ha producido efectos de combamiento producidos por fallamiento.

Fallas

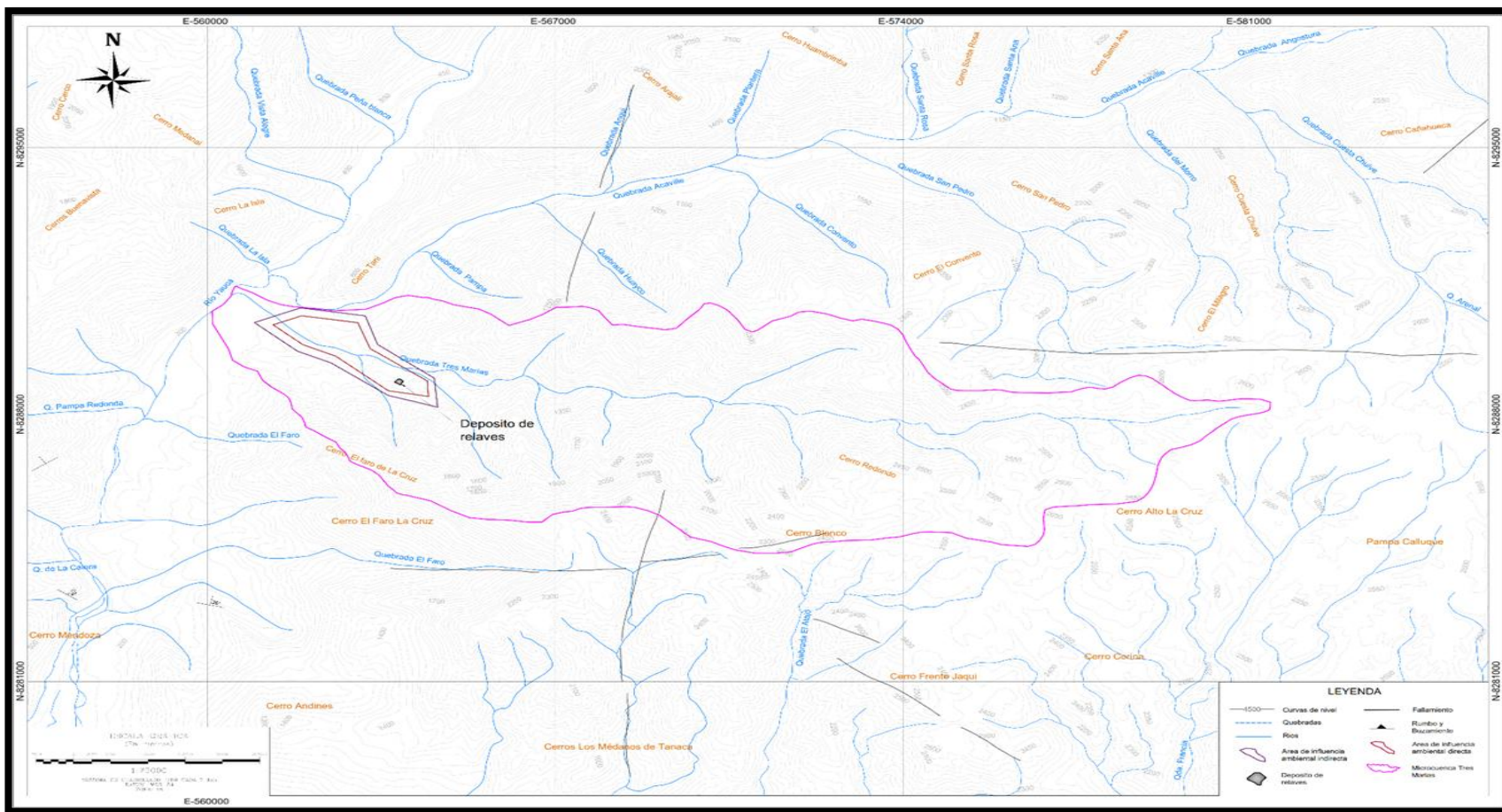
Falla El Faro

Tiene una dirección promedio de EO y se encuentra situada en el extremo norte del cuadrángulo de Chala, continúa hacia el oeste entre los límites de los cuadrángulos de Yauca y Acarí y, por el este, se pierde truncada por un macizo tonalítico-granodiorítico. Se le puede apreciar en la quebrada El Faro afectando a la monzodiorita cuarcífera, así como en el Alto Mal Paso, donde pone en contacto al Bajociano en el Jurásico superior. Es una falla normal vertical, con su bloque Sur descendido con respecto al bloque norte.

Diaclasas

Se hace mención especial, a un conjunto de diaclasas que afectan únicamente a las dioritas del Batolito en el sector de Atiquipa. Las diaclasas están desarrolladas conformando dos sistemas, una con dirección N 40° O y otro con N 40° E, el origen es probablemente singenético con las dioritas, pues no se observan en las rocas graníticas que intruyen a dichas rocas en la porción central. También, se distinguen una serie de fracturas dentro de otros sectores del Batolito, lo cual indica que el fracturamiento corresponde a la consolidación de los plutones.

Geología Estructural del área de estudio



Fuente: INGEMMET.

Geodinámica externa

Los procesos geodinámicas externos, están representados por los fenómenos que actúan en la superficie terrestre, son esencialmente destructores del relieve que ha sido formado por los procesos endógenos.

La acción de los procesos exógenos se refleja en los grandes ciclos de erosión los cuales desgastan y modelan la superficie mientras que los ciclos de sedimentación, dan lugar a nuevas rocas.

Los agentes externos causantes de la geodinámica son el viento, el agua, el hielo, la gravedad; estos participan en la evolución del modelado de la superficie terrestre.

Como parte de la evaluación de geodinámica externa, está la identificación de fenómenos activos o potenciales dentro de la zona de estudio, los que se detallan a continuación.

Erosión en surcos

Este fenómeno geodinámico consiste en el desgaste y modelado de la superficie terrestre, se desarrolla en terrenos inclinados con escasa o nula cobertura vegetal por acción de las aguas de escorrentía las cuales al desplazarse ladera abajo, tienen la suficiente capacidad de erosionar los materiales finos de la superficie.

Erosión de riberas

Este fenómeno corresponde al desgaste y remoción de los terrenos por la acción directa de las aguas de escorrentía a lo largo de los márgenes del cauce, provocando el socavamiento de los taludes en las orillas.

Caída de rocas

Los desprendimientos de rocas son fenómenos de pequeña magnitud generados por la gravedad y que ocurren por la inestabilidad natural de las vertientes rocosas empinadas. Este fenómeno depende del grado de fisuramiento de las rocas, litología y magnitud.

CAPÍTULO V

Diseño de obras civiles

5.1 Alcances

Las obras necesarias para darle mayor estabilidad al depósito de relaves del “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena”, incluyen la estructura de protección hidráulica que es el sistema de drenaje superficial canal de coronación, estructura de entrega, sistema de subdrenaje y poza de control de fugas.

Dentro de cada una de las estructuras antes mencionadas se contemplan un conjunto de subsistemas tales como la preparación de superficie de fundación.

5.2 Preparación de la fundación y manejo de filtraciones

El material inadecuado será retirado de áreas seleccionadas dentro de la etapa de construcción. Los límites de excavación serán estimados de acuerdo al proceso de construcción.

5.3 Sistema de colección de subdrenaje o sistema de control de fugas

Se instalará un sistema de recolección de subdrenaje dentro del área del depósito de relave con el fin de controlar las posibles filtraciones que se puedan producir, el agua filtrada será transportada hacia la zona más baja en donde se ubica una poza de colección para el monitoreo de dichas aguas.

Los subdrenajes consistirán en tuberías HDPE perforadas de 100 y 150 mm de diámetro encapsuladas con grava para drenaje que se colocará en trincheras de 0.4 m de profundidad por 0.6 m de ancho. La grava estará envuelta dentro de un geotextil no tejido de 270 g/m².

Los diámetros de las tuberías fueron estimados considerando la utilización de la mitad de su capacidad para pasar el flujo de filtración máximo esperado.

Los índices de filtración fueron calculados como el promedio de la tasa de infiltración y la filtración promedio máxima diaria. El modelo utilizado considero el área máxima de la cuenca

identificada y que tamaño de tubería tenía capacidad suficiente para conducir las infiltraciones en base a la tasa de infiltración.

5.4 Poza de colección y recirculación de aguas de contacto y subdrenaje

Esta sección presenta detalles del diseño de la poza de colección y recirculación. La poza de colección ha sido diseñada para captar flujo de agua de contacto y del sistema de subdrenaje. La capacidad de la poza de colección de filtraciones (monitoreo) es aproximadamente 20.0 m³.

5.5 Configuración final del dique para el depósito de relave

Se proyectó la construcción del dique principal cuyo material es de cantera, proveniente de la zona o área cercana donde se ubicará el depósito de relaves, compactado en capas de 0.3 m con el uso de rodillo vibrador de 12 Tn y con 4 a 6 pasadas, hasta alcanzar una densidad seca de 2.0 Tn/m³ como mínimo.

El depósito de relaves proveniente del proceso de la planta de 24 TMD, tiene una longitud de la corona es de 190.0 m con un ancho de 5 m, cuyo ángulo de talud aguas abajo es de 1.5:1.0 (H: V) y aguas arribas es de 1:1 (H: V).

La capacidad de almacenamiento de relave ha sido estimada en 119,799.40 m³, cuyo borde libre será de 1m, siendo la cota máxima de almacenamiento de 649.00 msnm.

Características del depósito de relaves final N°4

| DESCRIPCIÓN | UND. | CANTIDAD |
|---|----------------|--------------------------|
| Área emplazamiento del depósito de relaves | Has | 1.5 |
| Longitud del dique a nivel de corona | m | 190.0 |
| Material de construcción del dique de arranque | | Material de préstamo |
| Material de construcción del cuerpo de la presa | | Relave grueso compactado |
| Cota de corona del dique | m.s.n.m. | 650 |
| Ancho de corona del dique | m | 5.0 |
| Borde libre | m | 1.0 |
| Talud aguas abajo | H:V | 1.5H:1V |
| Talud aguas arriba | H:V | 1H:1V |
| Volumen de almacenamiento | m ³ | 119,799.40 |
| Vida útil | Años | 15 |

Fuente: Elaboración Propia.

5.6 Canal de coronación

A lo largo de los depósitos de relave, se construirá un canal de coronación que permitirá interceptar y captar los flujos de escorrentía superficial.

En canal de coronación inicia en la parte superior del depósito de relave, este será conformado de emboquillado de mortero con una relación de C: A 1:3 $f'c=175$ kg/cm², para el diseño de los canales se ha considerado la descarga correspondiente a avenidas con un periodo de retorno de 500 años.

Características de diseño del canal de coronación

| Tramo | Progresiva | Tipo de Sección | Revestimiento | Pendiente (m/m) | Longitud (m) | Base (m) | Talud (H:V) | Altura (m) | Espesor (m) |
|-------|-----------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|--------------|----------|-------------|------------|-------------|
| I | 0+00 a 0+303.32 | Trapezoidal | Concreto $f'c=175$ kg/cm ² | 0.04 | 303.32 | 0.75 | 1:1 | 0.60 | 0.15 |
| II | 0+00 a 0+077 | Trapezoidal | Concreto $f'c=175$ kg/cm ² | 0.06 | 77 | 0.75 | 1:1 | 0.60 | 0.15 |

Fuente: Elaboración Propia.

5.7 Estructura de embalse

La estructura de embalse se construirá para captar el agua a derivar, permite regular el caudal variable con que se producen los aportes de las quebradas, ajustándola así a las demandas del sistema para así evitar contacto con el depósito de relaves y controlar las inundaciones posibles.

5.8 Instrumentación geotécnica

El proyecto considera la instalación de dos (02) piezómetros PZ-01, PZ-02, tipo casagrande y la instalación de dos (3) hitos de control topográfico permanentes.

5.9 Muros de gavión (terramesh)

El sistema de suelo reforzado en terramesh system está formado por los elementos terramesh, el cual gracias a su paramento frontal de gavión y al refuerzo continuo de malla hexagonal a triple torsión forman el elemento principal de refuerzo del sistema, geotextil clase 2 clase 2, sistema de drenaje y el relleno compactado.

CAPÍTULO VI

Análisis de estabilidad física

6.1 Alcances

Se llevaron a cabo el análisis de estabilidad física como respaldo al diseño del depósito de relaves del “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena”. Los análisis comprendieron la evaluación de la geometría final y la fundación para establecer una (01) sección transversal crítica, la estimación de propiedades de resistencia del material, y análisis de estabilidad del talud tanto para condiciones de carga estática y pseudoestática. A continuación, se presentan detalles referentes a la sección transversal crítica, incluyendo las propiedades del material aplicadas en los análisis.

6.2 Metodología del análisis de estabilidad

Se llevaron a cabo análisis de estabilidad de taludes usando el programa de computo Slide ® (versión 6.0). Que permite al usuario llevar a cabo cálculos de equilibrio limite mediante una diversidad de métodos. Se pueden usar varios métodos para buscar la superficie de falla crítica, es decir, la superficie con el factor de seguridad más bajo para una geometría y propiedades de los materiales dados.

Se usó el método Spencer (1967) para buscar la superficie de deslizamiento crítica tomando en cuenta que este método considera el análisis para el equilibrio de momento y fuerza y produciendo una solución más rigurosa con respecto a otros métodos. Los análisis post-sismo representan la estabilidad del talud inmediatamente después de la ocurrencia del sismo de diseño.

Los análisis pseudo-estáticos implican la aplicación de una carga horizontal constante al talud para representar una fuerza generada por la aceleración del sismo, tal como se usa en la experiencia práctica, estos análisis se basaron en las resistencias reales pre-sismo.

La carga horizontal se especifica como un coeficiente de aceleración horizontal (K_h) y seleccionándose en estos análisis un coeficiente horizontal equivalente a dos tercios de la aceleración máxima del sismo de diseño.

El factor de dos tercios explica el hecho por el cual la fuerza generada por la aceleración pico se aplica solo durante un breve instante en el tiempo. Cabe resaltar que el estándar actual de la industria es realizar análisis de deformación inducida por una carga sísmica en lugar de análisis pseudo-estáticos debido a la naturaleza un tanto subjetiva de seleccionar este coeficiente sísmico; no obstante, se realizaron análisis pseudo-estáticos.

CONCLUSIONES

El factor de seguridad mínimo aceptable es 1.5 para condiciones de carga estática normales.

En la segunda tabla que se mostrará en estas conclusiones se ilustra el cumplimiento de estos valores; indicando que el diseño del depósito de relaves “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena” cumple con los requisitos de estabilidad de taludes.

Los factores de seguridad mínimos considerados en este estudio son aquellos recomendados por la “Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras” del Ministerio de Energía y Minas (MEM) para la condición de cierre, se utilizó valores relativamente flexibles que cumplen con las normas internacionales de estabilidad de presas. Estos valores mínimos se indican en la siguiente tabla:

Valores mínimos permisibles del factor de seguridad

| Caso | Factor de Seguridad Mínimo Permissible |
|--------------------------|--|
| Análisis Estático | 1.5 |
| Análisis Pseudo-Estático | 1.0 |

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados mostrados en la tabla anterior ilustran el cumplimiento de estos valores; indicando que el diseño del depósito de relaves del “Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena” cumplen con los requisitos de estabilidad de taludes.

Cabe destacar, no obstante, que los resultados con el factor de seguridad aceptable son contingentes dependiendo de la eliminación del depósito hidromórfico y materiales inadecuados por encima de aproximadamente 4 a 6 m.

Los análisis incluyen superficies de falla potencial circular que pasan por los materiales más débiles subyacentes al basamento rocoso impenetrable.

En la siguiente tabla se presenta el análisis de estabilidad física:

Resultados del análisis de estabilidad física

| Condición de Sección Análisis | | Factores de seguridad | | | |
|-------------------------------|------|-----------------------|-------|-----------------|-------|
| | | Estático | | Pseudo-estático | |
| | | Global | Local | Global | Local |
| Depósito de Relave | A-A´ | 1.906 | 2.009 | 1.033 | 1.128 |

Fuente: ACOMISA.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis en la condición pseudo-estática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre $1/3$ a $1/2$ de la máxima aceleración máxima esperada.

Lo anterior concuerda con las recomendaciones del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, Hynes y Franklin, 1984), quienes sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración pico de diseño, para nuestro caso el coeficiente sísmico será de 0.26g en condiciones pseudo-estáticas.

La recomendación del Cuerpo de Ingenieros está basada en la aplicación del método de Newmark para calcular desplazamientos permanentes en presas de tierra utilizando más de 350 registros sísmicos, concluyéndose que estas estructuras analizadas por el método pseudo-estático, con factores de seguridad mayores que 1,0. Utilizando coeficiente sísmico horizontal de $0,5xPGA$ no desarrollan deformaciones mayores a 1 m, que es un valor arbitrario que puede ser tolerado por presas de tierra, sin representar una amenaza a la integridad de la estructura.

Por lo tanto, en la presente tesis, se recomienda utilizar un coeficiente sísmico de 0,26 para el análisis pseudoestático de diseño del depósito de relaves del Proyecto Artesanal Concesión de Beneficio Filomena.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, R. (2017). *Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N° 5 de la Concesión de Beneficio Belén de minera Titán del Perú S.R.L.* (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Aula57internacional.es. (2019). *registro de beneficio mineral*. [online] Recuperado de: http://aula57internacional.es/2018-Jul-16/registro-de-beneficio-mineral_74090.html

Bieniawski, Z. (1989). *Clasificación Of Rock Masses for Engineering: The RMR System and Future Trends*. USA: Pennsylvania State University.

Billings, M. (1979). *Geología Estructural*. Argentina: Editorial Universitaria de Buenos Aires.

Cámara Peruana de la Construcción (2003). *Reglamento Nacional de Construcciones*. Lima, Perú: Editorial Científica S.R.L.

Das Braja, M. (1984). *Principies of Foundation Engineering*. California, USA: Brooks/Cole Engineering Division,

Guamán, J. (2009). *Estudio y diseño de un depósito de relaves del plan de manejo de las plantas de beneficio en el sector minero Portovelo* (Tesis de Pregrado), Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

Huaña, O. (2015). *Diseño de depósitos de relaves filtrados* (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

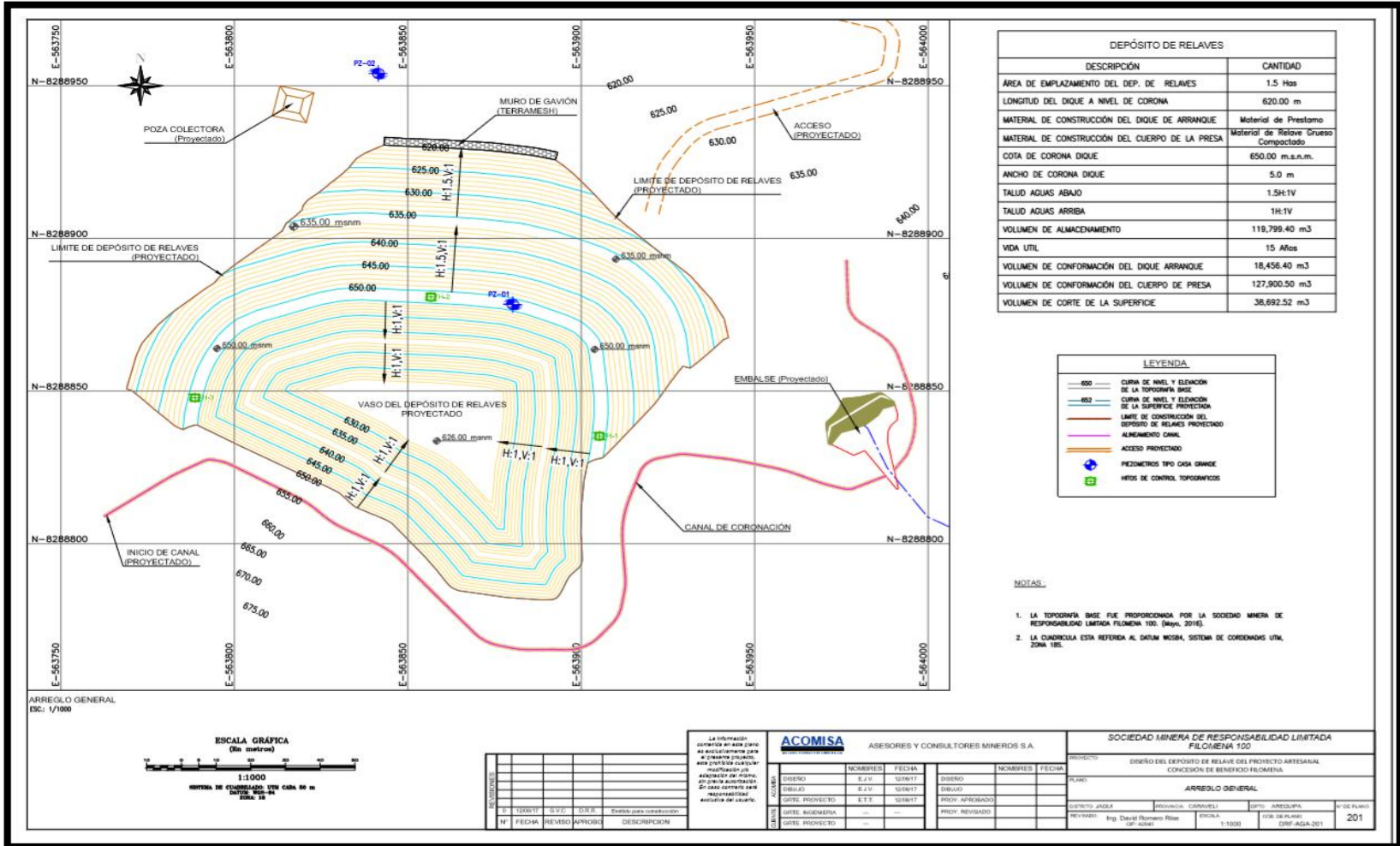
Infante, A. (2014). *Estudio geotécnico para el diseño de la presa de relaves Collparacra minera Milpo Ancash-Perú* (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Urbano, S. (2016). *Estudio experimental propiedades dinámicas de relaves espesados. Aplicación al análisis de estabilidad de un depósito de relaves* (Tesis de Postgrado), Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, Chile.

Valenzuela, P. (2015). *Sistema de medición de la estabilidad de depósitos mineros de relave frente a la acción eólica, para su recuperación como espacio urbano sostenible. El caso de la ciudad de Copiapó en Chile* (Tesis de Postgrado), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

ANEXOS

Planos



| DÉPÓSITO DE RELAVES | |
|---|--------------------------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
| ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL DEP. DE RELAVES | 1.5 Has |
| LONGITUD DEL DIQUE A NIVEL DE CORONA | 620.00 m |
| MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE DE ARRANQUE | Material de Prestamo |
| MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO DE LA PRESA | Material de Relave Grueso Compactado |
| COTA DE CORONA DIQUE | 650.00 m.s.n.m. |
| ANCHO DE CORONA DIQUE | 5.0 m |
| TALUD AGUAS ABAJO | 1.5H:1V |
| TALUD AGUAS ARRIBA | 1H:1V |
| VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO | 119,799.40 m ³ |
| VIDA UTIL | 15 Años |
| VOLUMEN DE CONFORMACIÓN DEL DIQUE ARRANQUE | 18,456.40 m ³ |
| VOLUMEN DE CONFORMACIÓN DEL CUERPO DE PRESA | 127,900.50 m ³ |
| VOLUMEN DE CORTE DE LA SUPERFICIE | 38,692.52 m ³ |

| LEYENDA | |
|---------|---|
| | CURVA DE NIVEL Y ELEVACION DE LA TOPOGRAFIA BASE |
| | CURVA DE NIVEL Y ELEVACION DE LA SUPERFICIE PROYECTADA |
| | LIMITE DE CONSTRUCCION DEL DEPÓSITO DE RELAVES PROYECTADO |
| | ALMAGRE CANAL |
| | ACCESO PROYECTADO |
| | PIEZOMETROS TPO CASA GRANDE |
| | HIJOS DE CONTROL TOPOGRAFICOS |

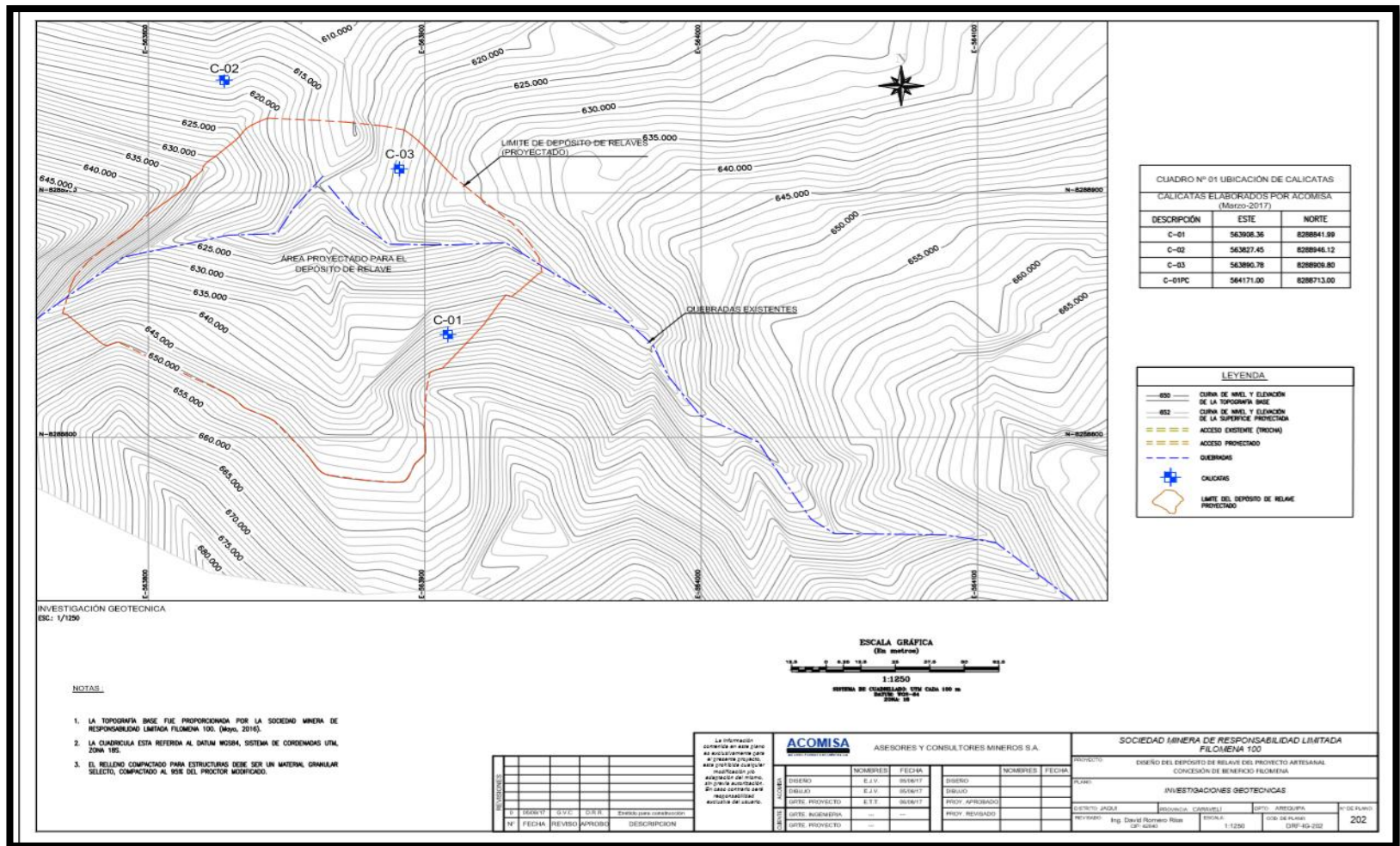
- NOTAS:
1. LA TOPOGRAFIA BASE FUE PROPORCIONADA POR LA SOCIEDAD MINERA DE RESPONSABILIDAD LIMITADA FILOMENA 100. (Mayo, 2016).
 2. LA CUADRICULA ESTA REFERIDA AL DATUM MOSA, SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18C.

ARREGLO GENERAL
Esc. 1/1000

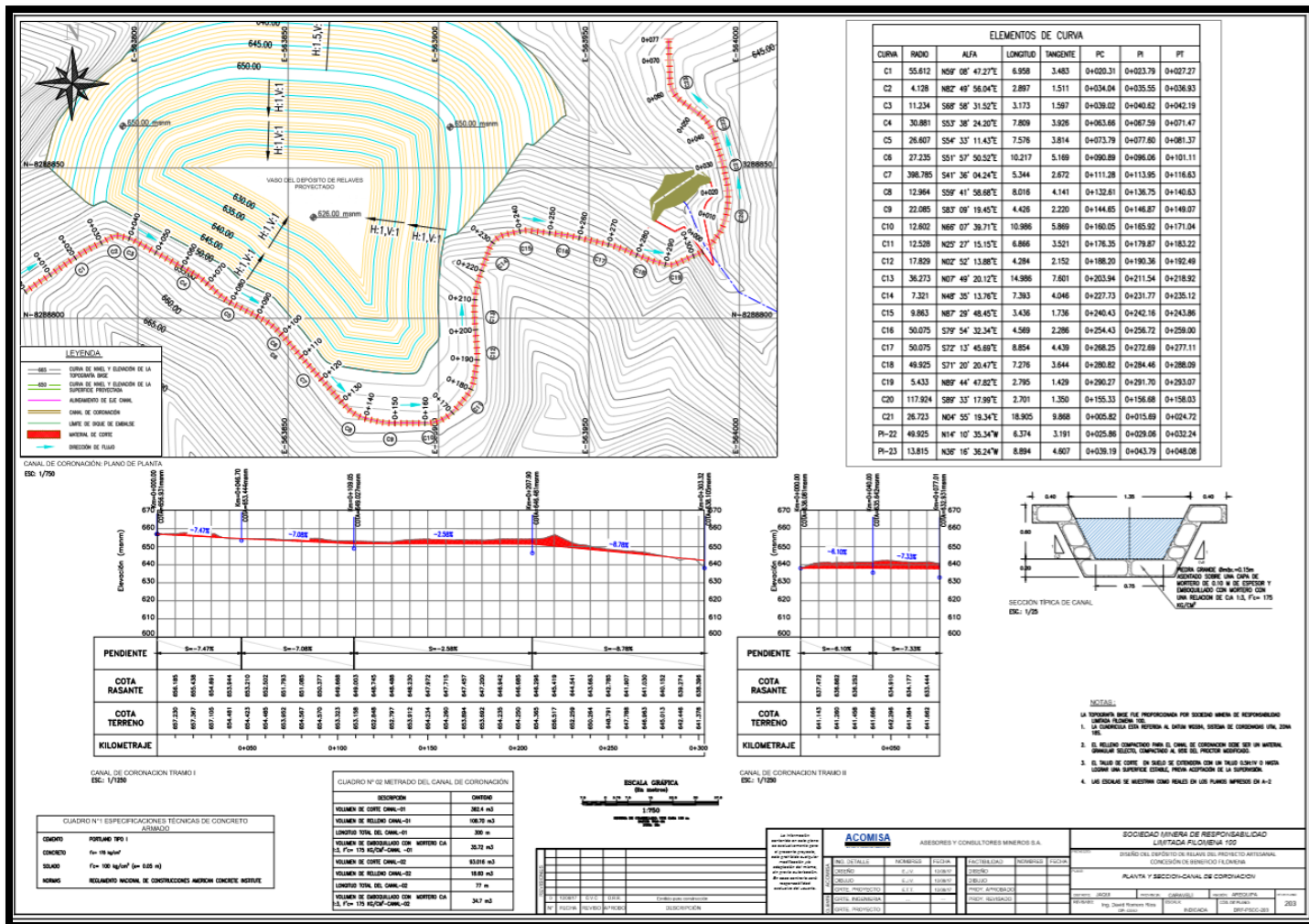


| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|
| <p>La información contenida en este plano es exclusivamente para el uso interno de la empresa y no puede ser utilizada para fines ajenos a los autorizados por escrito. En caso contrario será responsabilidad exclusiva del usuario.</p> | | | | <p>ACOMISA ASESORES Y CONSULTORES MINEROS S.A.</p> | | | | <p>SOCIEDAD MINERA DE RESPONSABILIDAD LIMITADA FILOMENA 100</p> | | | |
| <p>PROYECTO: DISEÑO DEL DEPÓSITO DE RELAVE DEL PROYECTO ARTESANAL CONCESION DE BENEFICIO FILOMENA</p> | | | | <p>PLANO: ARREGLO GENERAL</p> | | | | <p>PROYECTO: DISEÑO DEL DEPÓSITO DE RELAVE DEL PROYECTO ARTESANAL CONCESION DE BENEFICIO FILOMENA</p> | | | |
| <p>PROYECTO APROBADO</p> | | | | <p>PROYECTO REVISADO</p> | | | | <p>PROYECTO APROBADO</p> | | | |
| <p>FECHA: 10/06/17</p> | | | | <p>FECHA: 10/06/17</p> | | | | <p>FECHA: 10/06/17</p> | | | |
| <p>INGENIERO: []</p> | | | | <p>INGENIERO: []</p> | | | | <p>INGENIERO: []</p> | | | |
| <p>PROYECTO: []</p> | | | | <p>PROYECTO: []</p> | | | | <p>PROYECTO: []</p> | | | |
| <p>FECHA: []</p> | | | | <p>FECHA: []</p> | | | | <p>FECHA: []</p> | | | |
| <p>REVISOR: []</p> | | | | <p>REVISOR: []</p> | | | | <p>REVISOR: []</p> | | | |
| <p>APROBADO: []</p> | | | | <p>APROBADO: []</p> | | | | <p>APROBADO: []</p> | | | |
| <p>DESCRIPCION: []</p> | | | | <p>DESCRIPCION: []</p> | | | | <p>DESCRIPCION: []</p> | | | |
| <p>FECHA: []</p> | | | | <p>FECHA: []</p> | | | | <p>FECHA: []</p> | | | |
| <p>REVISOR: []</p> | | | | <p>REVISOR: []</p> | | | | <p>REVISOR: []</p> | | | |
| <p>APROBADO: []</p> | | | | <p>APROBADO: []</p> | | | | <p>APROBADO: []</p> | | | |
| <p>DESCRIPCION: []</p> | | | | <p>DESCRIPCION: []</p> | | | | <p>DESCRIPCION: []</p> | | | |

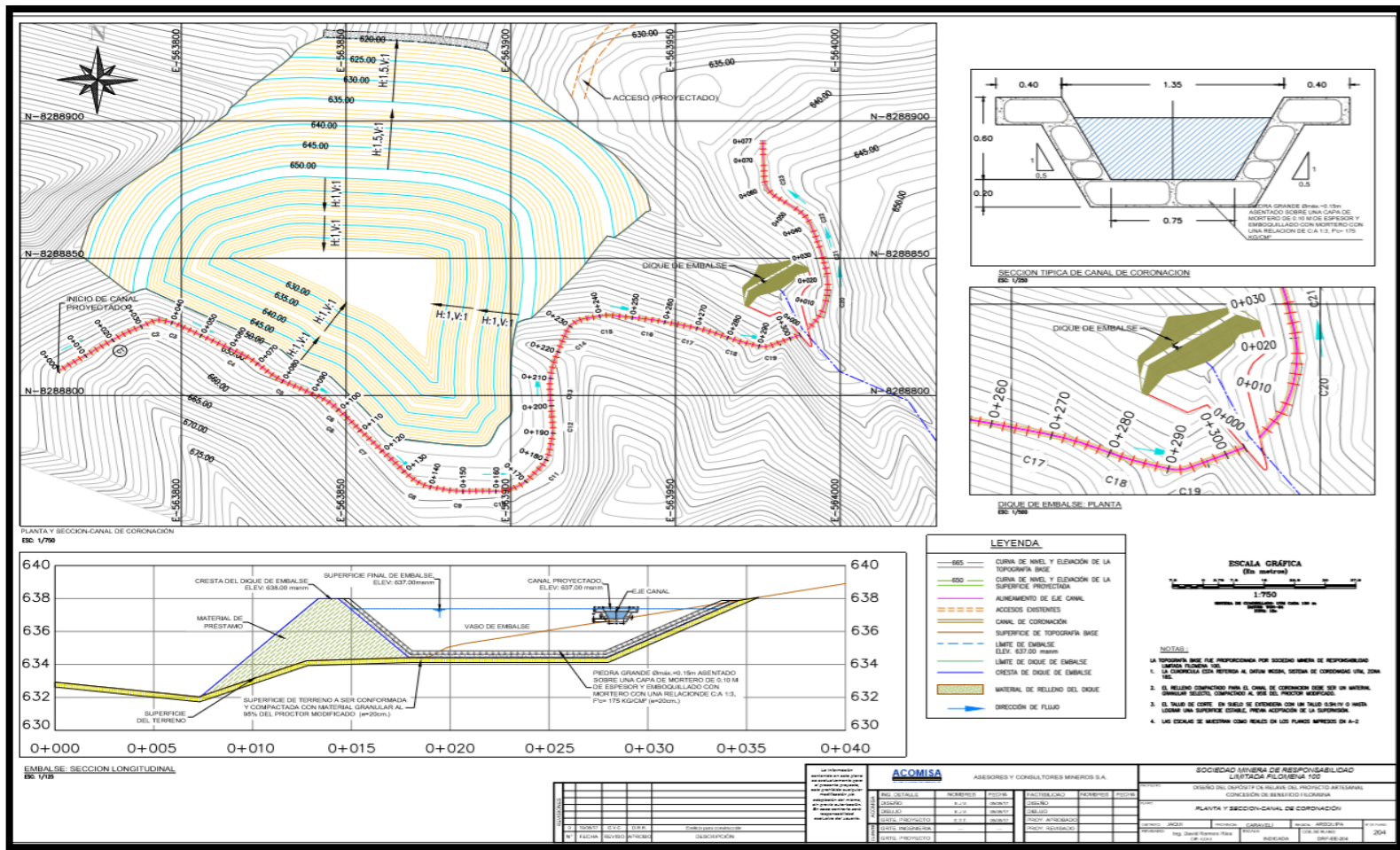
Plano de arreglo general. Fuente: ACOMISA.



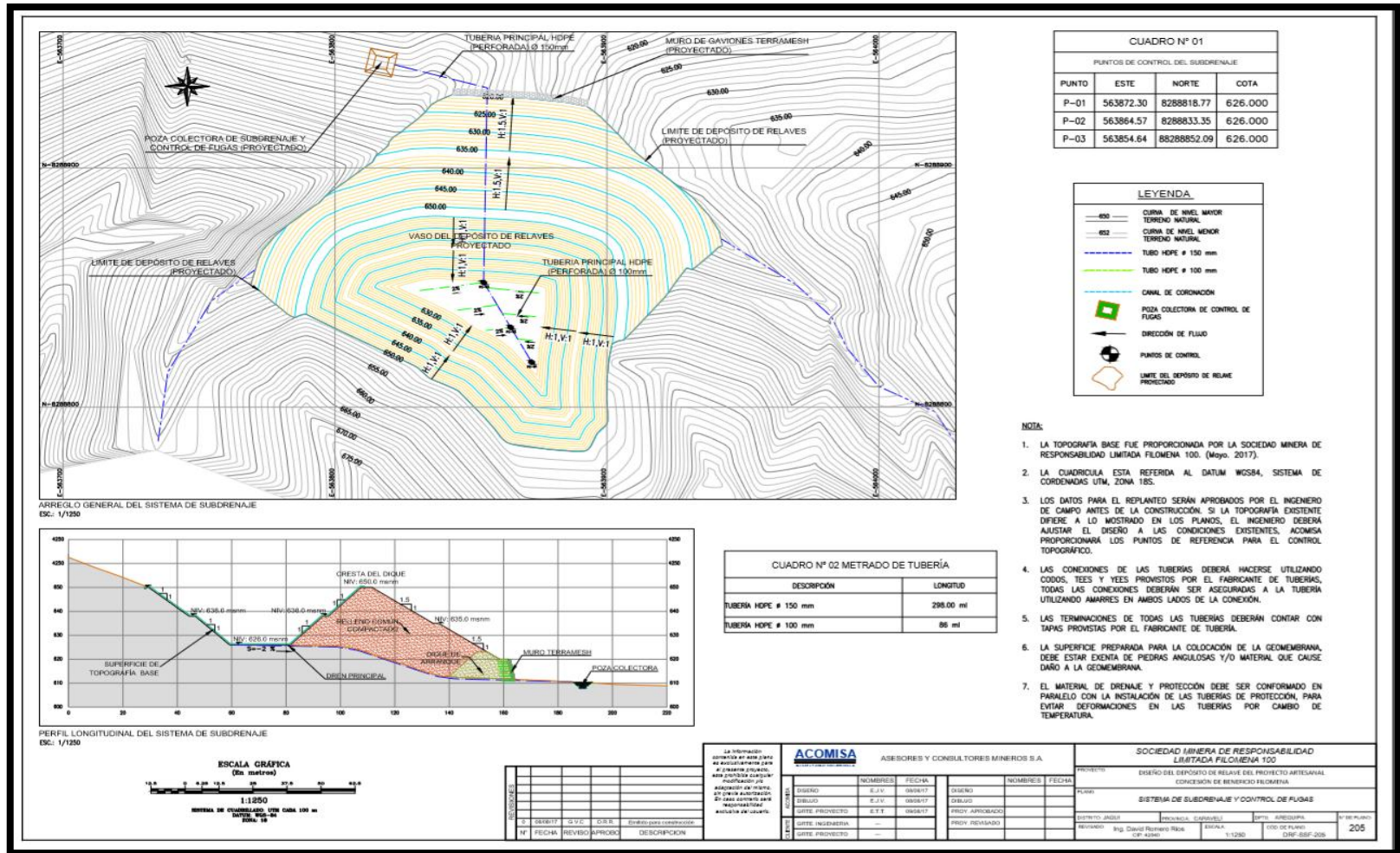
Plano de Investigaciones Geotécnicas. Fuente: ACOMISA.



Plano N° 01 de Planta y Sección-Canal de Coronación. Fuente: ACOMISA.



Plano N°02 de Planta y Sección-Canal de Coronación. Fuente: ACOMISA.



Plano del sistema de sub-drenaje y control de fugas. Fuente: ACOMISA.