

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA,
METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA**

E.A.P. DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**Estudio geotécnico de suelos para la construcción del
complejo deportivo Piuray Pampa, distrito de
Chincheros Urubamba – Cusco**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Chistian David Baquerizo Condori

Lima – Perú

2015

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mi asesor el Ing. Jaime Zegarra, por su apoyo y confianza durante la realización de esta tesis.

Agradezco a la empresa E&E Perú S.A. y a la Municipalidad Distrital de Chinchero por las facilidades y oportunidad de participar en este proyecto.

Un agradecimiento especial a mí distinguido Jurado: Ing. Ciro Bedia Guillen, Ing. Javier Jacay Huaraché y a la Ing. Maritza Campian.

A mi amigo y colega Vladimir Amorin Uchuypoma por sus observaciones, sugerencias y apoyo en mi tesis, así como en todos mis proyectos que he emprendido.

DEDICATORIA

A mi Madre Adela por su apoyo,
dedicación, paciencia y amor.

A mis Hermanos y a mi Sobrina
Stephanie, por el amor brindado.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 5 |
| 1 ASPECTOS GENERALES | 6 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 6 |
| 1.2 OBJETIVO | 6 |
| 1.3 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD..... | 7 |
| 1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO..... | 7 |
| 1.5 METODOLOGÍA | 8 |
| 1.6 INFORMACIÓN EMPLEADA | 10 |
| 2 GEOLOGÍA Y SISMICIDAD | 11 |
| 2.1 GEOMORFOLOGÍA | 11 |
| 2.1.1 ALTIPLANICIE | 11 |
| 2.2 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA | 13 |
| 2.3 ESTRATIGRAFÍA..... | 16 |
| 2.4 GEODINÁMICA INTERNA (SISMICIDAD)..... | 18 |
| 2.5 GEODINÁMICA EXTERNA..... | 18 |
| 3 EVALUACIÓN HIDROLÓGICA | 19 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA..... | 19 |
| 3.1.1 DESCRIPCIÓN HIDROGRÁFICA..... | 19 |
| 3.1.2 ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA O UNIDAD HIDROGRÁFICA | 25 |
| 3.2 ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE VARIABLES METEOROLÓGICA E HIDROMETEREOLÓGICA..... | 25 |
| 3.2.1 TEMPERATURA | 25 |
| 3.2.2 PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL | 26 |
| 3.2.3 PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24H | 27 |
| 3.3 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS | 29 |
| 3.3.1 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS | 29 |
| 3.3.2 PRECIPITACIÓN MÁXIMA MENSUAL..... | 29 |
| 3.3.3 CURVA-INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF) | 30 |
| 3.3.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN..... | 31 |
| 3.3.5 DESCARGAS MÁXIMAS CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO | 32 |
| 3.4 GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS | 34 |
| 3.4.1 METODOLOGÍA DE ZONAS DE VIDA..... | 34 |
| 4 FLUJO SUBSUPERFICIAL | 37 |
| 4.1 INTRODUCCIÓN | 37 |
| 4.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO..... | 37 |
| 4.2.1 PRUEBAS DE CAMPO..... | 37 |
| 4.2.2 PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACIÓN EN POZOS | 38 |
| 4.2.3 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.4 RANGOS DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD..... | 40 |
| 4.2.5 GRADIENTE HIDRÁULICO | 40 |
| 4.3 RESULTADOS DE PRUEBAS | 40 |
| 4.3.1 PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACIÓN | 40 |
| 4.3.2 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN | 41 |
| 4.3.3 GRADIENTE HIDRÁULICO | 42 |
| 5 GEOTÉCNIA..... | 43 |
| 5.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO..... | 43 |
| 5.1.1 EXCAVACIÓN DE CALICATAS | 43 |
| 5.1.2 DENSIDAD DE CAMPO – MÉTODO DEL CONO DE ARENA..... | 44 |
| 5.1.3 REGISTRO DE SONDAJE DPL (<i>DYNAMIC PROBING LIGHT</i>)..... | 45 |
| 5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO..... | 45 |
| 5.2.1 ENSAYOS ESTÁNDAR | 45 |
| 5.2.2 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO | 46 |
| 5.2.3 ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL | 47 |
| 5.2.4 ENSAYOS QUÍMICOS DE LOS SUELOS..... | 48 |
| 6 PARÁMETROS DE RESISTENCIA..... | 50 |
| 6.1 ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA..... | 50 |
| 6.2 COHESIÓN..... | 51 |
| 6.3 ÁNGULO DE ARRANCAMIENTO | 51 |
| 6.4 COEFICIENTE DE FRICCIÓN | 51 |
| 6.5 PARÁMETROS ELÁSTICOS | 52 |
| 6.6 ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD | 53 |
| 6.7 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SUELOS..... | 54 |
| 7 DISEÑO DE CIMENTACIONES..... | 55 |
| 7.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO | 55 |
| 7.2 CONDICIONES DE ANÁLISIS | 55 |
| 7.3 CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA EN SUELOS..... | 55 |
| 7.3.1 Factores de capacidad de carga..... | 56 |
| 7.3.2 Factores de corrección por forma, profundidad e inclinación | 57 |
| 7.3.3 Modificación de la ecuación de capacidad portante por efectos del nivel freático..... | 57 |
| 7.4 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS | 59 |
| 7.5 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE Y ASENTAMIENTO EN SUELOS..... | 60 |
| 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 61 |
| 8.1 CONCLUSIONES | 61 |
| 8.2 RECOMENDACIONES | 63 |
| 9 ANEXOS..... | 66 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|---------------|---|----|
| Tabla N° 1-1 | Vías de Acceso al Área de Estudio..... | 7 |
| Tabla N° 2-2 | Columna Estratigráfica Generalizada Local..... | 17 |
| Tabla N° 3-1 | Parámetros Geomorfológicos – Microcuencas de la Laguna Piuray | 21 |
| Tabla N° 3-2 | Temperatura Promedio Mensual – Estación Yucay (° C)..... | 25 |
| Tabla N° 3-3 | Precipitación Total Mensual (mm)..... | 26 |
| Tabla N° 3-4 | Precipitación Máxima 24H (mm)..... | 27 |
| Tabla N° 3-5 | Resultados de la Precipitación Máxima en 24 Horas (Yucay) | 29 |
| Tabla N° 3-6 | Resultados de la Precipitación Máxima Mensual (Yucay) | 29 |
| Tabla N° 3-7 | Intensidades Máximas (Yucay)..... | 30 |
| Tabla N° 3-8 | Características y Tiempo de Concentración | 32 |
| Tabla N° 3-9 | Caudales Máximos Calculados (m ³ /s)..... | 33 |
| Tabla N° 3-10 | Zonas de Vida..... | 34 |
| Tabla N° 3-11 | Caudales Medios Generados – Metodología de Zonas de Vida..... | 36 |
| Tabla N° 4-1 | Ubicación de las Calicatas..... | 37 |
| Tabla N° 4-2 | Características Geométricas de las Calicatas – Ensayos de Permeabilidad..... | 38 |
| Tabla N° 4-3 | Coefficientes de Permeabilidad para Distintos Tipos de Suelos No Consolidados | 40 |
| Tabla N° 4-4 | Prueba de Agotamiento y Recuperación – Calicata 01 | 41 |
| Tabla N° 4-5 | Prueba de Agotamiento y Recuperación – Calicata 07 | 41 |
| Tabla N° 4-6 | Prueba de Infiltración – Calicata 01 | 42 |
| Tabla N° 4-7 | Prueba de Infiltración – Calicata 12..... | 42 |
| Tabla N° 5-1 | Ubicación de las Calicatas..... | 43 |
| Tabla N° 5-2 | Densidad de Campo- Método del Cono de Arena | 44 |
| Tabla N° 5-3 | Registro del Sondaje DPL..... | 45 |
| Tabla N° 5-4 | Normas para los ensayos estándar de clasificación de suelos..... | 46 |
| Tabla N° 5-5 | Caracterización física de los suelos..... | 46 |
| Tabla N° 5-6 | Ensayos de Corte Directo..... | 47 |
| Tabla N° 5-7 | Resultados de Consolidación Unidimensional..... | 47 |
| Tabla N° 5-8 | Ensayos químicos de sulfatos y cloruros | 48 |
| Tabla N° 5-9 | Resultados del análisis químico de suelos | 48 |
| Tabla N° 5-10 | Contenido de Sulfatos y su Grado de Agresividad al Concreto | 48 |
| Tabla N° 6-1 | Coefficiente de Fricción | 52 |
| Tabla N° 6-2 | Parámetros elásticos de diversos suelos..... | 52 |
| Tabla N° 6-3 | Índice de Compresibilidad..... | 53 |
| Tabla N° 6-4 | Definición de parámetros de diseño en suelos | 54 |
| Tabla N° 7-1 | Capacidad admisible y asentamientos en el terreno | 60 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura N° 2-1.- Pampa de Piuray - Maras (Fuente: E&E Perú S.A. – Trabajos de Campo). | 12 |
| Figura N° 2-2.- Ubicación de Dolinas y Uvalas (Fuente: E&E Perú S.A. – Trabajos de Campo)..... | 13 |
| Figura N° 2-3.- Suelo formado por limos diatomáceos (Fuente: E&E Perú S.A. – Trabajos de Campo). | 16 |
| Figura N° 3-1.- Esquema Fluvial de la Subcuenca de la Laguna Piuray. | 20 |
| Figura N° 3-2.- Curva Hipsométrica - Microcuenca del Río Cusihuaygo. | 23 |
| Figura N° 3-3.- Curva Hipsométrica - Microcuenca del Río Pacchaicoc..... | 23 |
| Figura N° 3-4.- Curva Hipsométrica - Microcuenca de la Quebrada S/N 2..... | 24 |
| Figura N° 3-5.- Curva Hipsométrica - Microcuenca de la Quebrada S/N 1..... | 24 |
| Figura N° 3-6.- Temperatura Promedio Mensual – Estación de Yucaj (1981-1982)..... | 26 |
| Figura N° 3-7.- Histograma de Precipitación Total Mensual – Estación Yucaj (1968-1982)..... | 27 |
| Figura N° 3-8.- Histograma de Precipitación Máxima 24H – Estación Yucaj (1968-1982) | 28 |
| Figura N° 3-9.- Curva Intensidad – Periodo – Frecuencia. | 31 |
| Figura N° 3-10.- Diagrama Bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge. | 35 |
| Figura N° 3-11.- Monograma de Movimiento de Agua en Asociaciones Climáticas. | 35 |
| Figura N° 4-1.- Esquema de Prueba – Agotamiento y Recuperación..... | 39 |
| Figura N° 4-2.- Esquema de Prueba de Permeabilidad – Prueba de Infiltración..... | 39 |
| Figura N° 7-1.- Modificación de Capacidad Portante por Presencia de Nivel Freático..... | 58 |

ESTUDIO GEOTÉCNICO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL COMPLEJO DEPORTIVO PIURAY PAMPA, DISTRITO DE CHINCHERO-URUBAMBA-CUSCO

RESUMEN

La presente investigación se realizó en los terrenos aledaños de la Laguna Piuray ubicada en el departamento de Cusco, donde se tiene proyectado la construcción de un complejo deportivo y recreativo con la particularidad de que se encontraría sobre depósitos naturales de suelos que contienen diatomeas (suelos diatomáceos) los cuales se caracterizan por tener propiedades físicas y mecánicas singulares, que no siguen las correlaciones obtenidas y aceptadas para la mayoría de los suelos. Las diatomeas son ejemplos sobresalientes de materiales naturales micro y nanoestructurados que pueden afectar las propiedades de los suelos, teniendo en cuenta sus características únicas, se realizó el estudio geotécnico en el lugar donde se proyecta la construcción del complejo, que consistió en la inspección técnica del terreno, ensayos de campo y muestreo de suelos para los ensayos de laboratorio, con el fin de establecer las condiciones físicas mínimas del suelo para ser tomadas en cuenta en el diseño de las cimentaciones.

Palabras clave: Geotécnia, Cimentación, Geomorfología, Estratigrafía

1 ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente la Municipalidad Distrital de Chincheros (MDC) posee dentro de su plan estratégico la ejecución de un Complejo Deportivo y Recreativo en Piuray Pampa, y como parte de dicho proyecto, en la etapa de Perfil, se encuentra el desarrollo del Estudio Geotécnico con fines de Cimentaciones, el cual tiene como objetivo principal determinar las condiciones geotécnicas del terreno de fundación para que en la etapa de Ingeniería se diseñe las cimentaciones del complejo.

Para tal fin se ha llevado a cabo un programa de investigaciones geotécnicas que consistieron en la inspección técnica del terreno, ensayos de campo y muestreo de suelos para su posterior evaluación en ensayos de laboratorio.

El estudio geotécnico comprende la caracterización del tipo de material y las condiciones físicas del terreno de fundación, para luego determinar los parámetros de resistencia y asentamiento del suelo.

El presente estudio documenta los resultados de la exploración geotécnica realizada en los trabajos de campo por la empresa Engineers & Environmental Perú S.A. (E&E Peru) los días 24 al 25 de abril del 2013.

1.2 OBJETIVO

Objetivo General

- El presente documento tiene por objetivo realizar un estudio geotécnico del suelo, donde se emplazaran las estructuras proyectadas del complejo, con el fin de establecer las condiciones físicas mínimas del suelo para ser tomadas en cuenta en el diseño de las cimentaciones.
- Presentar este trabajo de investigación como tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo.

Objetivos Específicos

- Determinar los perfiles estratigráficos del terreno de fundación.
- Caracterizar el tipo de suelo y las condiciones físicas del terreno de fundación.
- Determinar los parámetros geotécnicos del terreno de fundación.
- Determinar la profundidad de cimentación, capacidad portante admisible y asentamientos.
- Recomendar consideraciones para el diseño de cimentaciones.

1.3 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El proyecto se ubica en el distrito de Chinchero, Provincia de Urubamba y Departamento de Cusco. La topografía es accidentada con planicies alto-andinas, presentando desniveles desde los 3 700 hasta los 5 000 msnm.

En la **Tabla N° 1-1**, se presenta la ruta de acceso desde la ciudad de Lima hacia la zona del proyecto.

Tabla N° 1-1
Vías de Acceso al Área de Estudio

| Vía / Ruta | Km | Tiempo | Estado |
|--|-------|----------|-----------|
| Vía Terrestre: Lima – Arequipa - Cusco | 1 650 | 24 Horas | Asfaltado |
| Vía Terrestre: Lima – Nazca – Puquio – Abancay - Cusco | 1 131 | 20 Horas | Asfaltado |
| Vía Aérea: Lima -Cusco | | 01 Hora | |
| Cusco - Chinchero | 40 km | 45 Min. | Asfaltado |

Fuente: E&E Perú S.A.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La Municipalidad Distrital de Chinchero, dentro de su programación de obras para el año 2 013, ha elaborado el proyecto denominado “Creación del Complejo Deportivo y Recreativo en Piuray Pampa, Distrito de Chinchero – Urubamba – Cusco”; dentro de los cuales se comprende la construcción de diferentes infraestructuras divididas en los componentes que se detallan más adelante. La construcción y desarrollo de todos los componentes se realizará en un área aproximada de 63 868 m².

a. **Componente 01: Infraestructura deportiva**

- Estadio de futbol de grass natural (con sshh, duchas y vestuarios), pista atlética alrededor y tribunas.
- Losas deportivas (fulbito, vóley y básquet)
- Cancha sintética de futbol rápido
- Piscina temperada (semi-olimpica y para niños)

b. **Componente 02: Infraestructura para actividades sociales y culturales**

- Centro de convenciones
- Alameda (con módulos para expendio de comida)
- Área verde y exteriores
- Estacionamientos
- SSHH y otros (para exterior)

1.5 METODOLOGÍA

La metodología de trabajo empleado, para el desarrollo del estudio fue llevada a cabo en cuatro (04) fases: (1) Recolección y Análisis de Datos Existentes; (2) Inspección de Campo; (3) Ensayos de Laboratorio; y (4) Trabajo de Gabinete.

Recolección y Análisis de Datos Existentes

Comprende la recopilación de información principalmente del Instituto Geológico Minero Metalúrgico del Perú (INGEMMET), a través del Boletín Geológico N° 65 que corresponde al Cuadrángulo de Urubamba hoja 27-r, el cual nos proporciona información básicamente geológica del proyecto.

Inspección de Campo

La inspección de campo se realizó en dos etapas:

- Inspección visual preliminar: Fue realizada el 18 de febrero del 2013 y tuvo como finalidad evaluar la zona del proyecto para determinar los ensayos de interés. Durante esta visita se identificó que el proyecto se ubicaba en un lecho lacustre, por lo tanto el suelo era predominantemente fino con un alto nivel freático.
- Inspección de campo final: Fue realizada del 24 al 25 de abril. Durante este periodo se realizó las siguientes actividades:
 - Calicatas: La exploración geotécnica de campo ha consistido en la excavación de calicatas a cielo a vierto distribuidas convenientemente según los fines del estudio, en total 12 calicatas. En cada una de las calicatas se realizó el registro de excavación de acuerdo a la norma ASTM D-2488. Se tomaron muestras disturbadas de las excavaciones (en total 3 muestras) para la ejecución de los ensayos de laboratorio correspondiente, las cuales fueron identificadas convenientemente y embaladas en bolsas de polietileno que fueron remitidas al laboratorio de mecánica de suelos.
 - Ensayo de Densidad in Situ – Método del Cono de Arena: Con la finalidad de determinar la densidad natural del suelo, en total 3 ensayos. Este método se realiza excavando un agujero dentro de la abertura de una placa base, el volumen del suelo a remover está en función al tamaño de las partículas del suelo. El material extraído será depositado en un recipiente hermético. El suelo extraído se pesa, luego el volumen del agujero se calcula mediante la diferencia del peso inicial y final de la arena estandarizada que queda en el frasco. Este ensayo se encuentra normado bajo la NTP 339.143 (ASTM D 1556).
 - Sondaje *Dynamic Probing Light* (DPL): Con la finalidad de conseguir la profundidad de rechazo en terreno, el cual indicaría la llegada a un estrato más resistente o la presencia de gravas, que adicionalmente permite determinar la resistencia del suelo, en total se realizaron 4 sondajes. El ensayo DPL (DIN 4094), consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm

de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso, que cae libremente desde una altura de 50 cm. Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones para encontrar el valor N de resistencia a la penetración estándar en función del tipo de suelo por cada 10 cm de hincado.

Ensayos de Laboratorio

Con las muestras alteradas obtenidas en la inspección de campo y la densidad de campo, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Ensayos Estándar: se realizaron los ensayos estándar de clasificación de suelos y propiedades físicas que consisten en: análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico) y contenido de humedad. Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materiales (ASTM), las normas para estos ensayos son las siguientes:
 - Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422.
 - Límites de Atterberg ASTM D-4318.
 - Contenido de humedad ASTM D-2216.
 - Clasificación SUCS ASTM D-2487.
- Ensayo de Corte Directo: Con la finalidad de obtener los parámetros resistentes del suelo se realizaron en total 03 ensayos. Este ensayo consiste en colocar el espécimen en una caja de cizalladura directa, se fundamenta en aplicar un esfuerzo normal y luego un movimiento a velocidad constante en trayectoria horizontal, se mide la fuerza y desplazamiento a medida que es cizallada. Este ensayo se rige al ASTM D-3080.
- Ensayo de Consolidación Unidimensional: Con la finalidad de determinar el grado de asentamiento que experimenta una muestra de suelo al someterla a una serie de incrementos de presión o carga, se realizó un ensayo. Este ensayo se rige al ASTM D-2435.
- Ensayos Químicos: Los ensayos químicos permiten determinar el grado de agresividad del suelo con la cimentación u otras estructuras que estarán en contacto con el suelo, para esto se ejecutaron 3 ensayos químicos, para determinar la concentración de sulfatos y cloruros presentes en el suelo.

Trabajos de Gabinete

En esta etapa se desarrollan los siguientes procesos:

- Descripción general del proyecto: Consiste en la descripción de los diferentes componentes del Proyecto, así como de sus características más importantes desde el punto de vista geotécnico. También se incluyen objetivos y alcances del proyecto, información geográfica y metodologías de trabajo.
- Descripción de geología y sismicidad: Consiste en la descripción de la geología y la sismicidad de la zona.
- Fundamentación geotécnica: Consiste en determinar un programa de investigaciones geotécnicas. Además se visualizarán los resultados obtenidos en los ensayos.
- Análisis y diseño de cimentaciones: Mediante este proceso se busca establecer la zonificación del terreno de fundación de las cimentaciones, y comprende los siguientes pasos lógicos:
 - Metodología de cálculo.
 - Condiciones de análisis
 - Definición de los tipos de terreno.
 - Determinación de la capacidad portante.
 - Análisis de asentamiento.

1.6 INFORMACIÓN EMPLEADA

A continuación se menciona la información principal y secundaria empleada para conceptualizar la elaboración del presente informe:

- *Boletín Geológico N°65. Cuadrángulos de Urubamba (27-r) y Calca (27-s), 1996.* Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

2 GEOLOGÍA Y SISMICIDAD

La evaluación geológica de la zona del proyecto se ha efectuado a través de trabajos de exploración de campo, y a través del Boletín Geológico N° 65 que corresponde al Cuadrángulo de Urubamba hoja 27-r (Carlotto et al 1996), necesarios para definir el perfil estratigráfico de las diferentes unidades geológicas.

2.1 GEOMORFOLOGÍA

En el área del proyecto se han diferenciado principalmente las siguientes unidades geomorfológicas:

2.1.1 ALTIPLANICIE

Esta unidad corresponde a una zona con relieves relativamente planos cuyas altitudes varían entre 4 200 y 4 300 msnm, dentro de esta unidad se han diferenciado las siguientes geoformas: la Depresión de Anta, la Pampa de Piuray – Maras, las Montañas de Cusco y la Depresión de Limatambo. El área de estudio se encuentra ubicada en la Pampa de Piuray – Maras.

Pampa de Piuray - Maras

Se trata de un relieve algo plano que se halla a una altura mayor que la Depresión de Anta, variando entre 3 600 y 3 750 msnm. Esta unidad limita al norte con el río Urubamba a través de una ladera escarpada en la parte oriental y una pendiente suave en el sector occidental. Al este limita con las Montañas del Cusco por intermedio de fallas N-S los que muestran reactivaciones cuaternarias y holocenas. Al Sur limita con la Depresión de Anta y lo hace de una manera progresiva. Al oeste, el límite es con las Montañas de Huayanay, a través del valle del río Huarucondo. Esta Pampa esta rellena por secuencias caóticas, con grandes bloques, de la formación Chincheros de posible edad Pliocena y por series fluvio-lacustres del Pleistoceno de la Formación San Sebastián. Además, en la Pampa de Piuray – Maras afloran lutitas, calizas y evaporitas del Grupo Yuncaypata (Ver **Figura N° 2-1**).

En esta unidad se ubican las lagunas de Piuray y de Huaypo, que muestran en las fotografías aéreas, un retroceso, particularmente de la Laguna de Piuray que abastece de agua a la ciudad del Cusco.

En la Pampa sobresalen algunas lomas intermedias, entre las que destacan el cerro Yanaorcco (4 101 msnm), cerro Huanacaure (3 850 msnm), cerro Arhuayro (3 720 msnm), cerro Llutoquico (4 000 msnm.) y el cerro Sacro (3 876 msnm). Estas lomas están principalmente compuestas por afloramientos de areniscas del Grupo San Jerónimo; lutitas, calizas y evaporitas de la Formación Puquín, y volcánicos shoshoníticos cuaternarios de la Formación Rumicolca.



Figura N° 2-1.- Pampa de Piuray - Maras (Fuente: E&E Perú S.A. – Trabajos de Campo).

Laguna de Piuray

La laguna de Piuray al igual que otras lagunas tienen su origen en el pleistoceno, cuya fluctuación del volumen de agua, ha variado con los diferentes eventos tectónicos y ciclo meteorológico, los cuales han dado lugar a la variación del nivel del espejo de agua, cuya evidencia se muestra en el contorno del antiguo vaso, que van de E-O (Huila-huila, Hualpachaca) y la presencia de un gran paquete sedimentario de suelo lacustre (Limos diatomitas, arcillas). Teniendo como desagüe principal la quebrada Llancamayu (Cachimayo) con dirección hacia el Sur.

Las principales características de la laguna son:

Superficie: 310,72 ha.

Perímetro: 8 914,97 m.

Altitud: 3 700 msnm.

Profundidad máxima (1 992): 42 m.

Dolinas y Uvalas

Son depresiones en forma de embudo. Pueden formarse por disolución de la caliza o por el hundimiento o colapso del techo de una gruta. Pueden llegar a tener desde varias docenas de metros hasta varios kilómetros de diámetro y 200 metros de profundidad. Su fondo está ocupado por arcillas, recubiertas de vegetación o bien puede estar ocupado por el agua formando lagunas.

Si se produce la unión de varias dolinas dan lugar a una depresión mayor llamada uvala, y la unión de

uvalas forma poljes, que son depresiones que pueden tener varios kilómetros de extensión (Ver Figura N° 2-2).



Figura N° 2-2.- Ubicación de Dolinas y Uvalas (Fuente: E&E Perú S.A. – Trabajos de Campo).

2.2 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Regionalmente la sub-cuenca de la Laguna Piuray se ubica en el cuadrángulo de Urubamba hoja 27-r, de la carta geológica proporcionada por el INGEMMET, litológicamente está conformado por formaciones geológicas que van desde el Cretácico hasta el Cuaternario Reciente (Carlotto et al 1996, Carlotto 1998 y 2002).

El área del proyecto está conformada principalmente por depósitos palustres y lacustres subactuales, pertenecientes al Cuaternario.

A continuación, se describen las formaciones identificadas y relacionadas al sitio del proyecto:

Grupo Yuncaypata: Formación Maras (Ki-ma)

Sobreyace concordantemente a la Formación Paucarbamba. Estas secuencias afloran en la Pampa Maras-Piuray de manera caótica, es decir, una mezcla de yesos, lutitas y escasamente calizas producto de deformaciones diapíricas.

La Formación Maras está compuesta básicamente por yesos, intercaladas con lutitas rojas y más escasamente lutitas verdes y algunos niveles de calizas de grosores delgados (3 m a 7 m), las lutitas serían de origen lacustre o marino poco profundo, los yesos de sabkha y las calizas indicarían máximos transgresivos.

Grupo Yuncaypata: Formación Ayavaca (Kis-ay)

Esta Formación está conformada predominantemente por calizas y al igual que la Formación Maras su afloramiento es de forma caótica. En muchas zonas no aparecen dentro del Grupo Yuncaypata y en otros casos lo hacen de manera abundante, tal como se observa en Chinchero

Grupo Yuncaypata: Formación Puquín (Ks-pu)

Esta Formación está conformada por tres miembros, sin embargo, el miembro intermedio y superior afloran en el anticlinal de Piuray.

El miembro intermedio se compone a la vez de dos secuencias, que son transgresivas a la base (marinas poco profundas y confinadas) y regresivas al techo (lacustre). Las secuencias basales están compuestas por calizas, margas, lutitas negras ricas en materia orgánica y pirita, mientras que la parte media y superior por lutitas verdes y rojas asociadas a yesos laminares.

El miembro superior está compuesto por una megasecuencia esencialmente arenosa y más detrítica que las precedentes. Este miembro comienza con bancos arenosos fluviales, seguidos por intercalaciones de lutitas, margas y calizas lacustres.

Formaciones Quilque y Chilca (Pp-qc)

La Formación Quilque trata de capas rojas que sobreyacen en discordancia sobre la Formación Puquín. Está conformado por lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados, estos últimos formados por la erosión de costras calcáreas.

La Formación Chilca se encuentra en los mismos lugares donde aflora la Formación Quilque, aunque se encuentra mayormente erosionada. Está constituida por lutitas rojas con láminas de yeso, margas y areniscas calcáreas de medios lacustres o sabkha, que pasan gradualmente a areniscas rojas feldespáticas de un sistema fluvial de canales entrelazados.

Grupo San Jerónimo (Peo-sj)

Está conformada por tres formaciones: Kayra, Soncco y Punacancha, está última no aflora en ninguna parte del área de estudio (Córdova 1986).

Las Formaciones Kayra y Soncco forman un conjunto que está principalmente constituida, por areniscas feldespáticas intercaladas con limolitas y algunos bancos conglomerados, todos de origen fluvial.

Formación Chinchero (Np-cc)

La Formación Chincheros (Cabrera, 1988), está formada por secuencias fluvio torrenciales y reposa sobre una topografía diferenciada y en discordancia angular sobre el Grupo Yuncaypata. Esta

formación presenta un espesor variable con un máximo de 200 metros. Estos depósitos se han identificado al Sur de la ciudad de Urubamba.

La Formación Chincheros por su composición litológica y color es a veces confundida, con un conjunto caótico bastante deformado del Grupo Yuncaypata. Está constituida de brechas que tienen una matriz arcillo-arenosa. En general, los diferentes elementos clásticos que componen la Formación Chincheros provienen de la erosión del Grupo Yuncaypata, es decir calizas, yesos y lutitas de diferentes colores. Se le asigna una edad Neógena posiblemente Miocena o Pliocena. Sin embargo, la evolución estratigráfica muestra que esta formación sería sobre todo Pliocena.

Formación San Sebastián (Q-sa)

La Formación San Sebastián (Gregory, 1916), se ha reconocido en la Pampa de Maras. Estas presentan una superficie bastante plana sobreyaciendo a la Formación Maras.

Esta unidad está caracterizada por formar dos secuencias (Cabrera, 1988): la primera, grano decreciente, está constituida por secuencias de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos, y lutitas lacustres o palustres. Niveles diatomíticos y calcáreos caracterizan la parte superior. La segunda grano creciente, está compuesta por conglomerados y areniscas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, que indican el cierre de la cuenca.

Por los fósiles de vertebrados, se le asigna una edad Pleistocena inferior para la Formación San Sebastián.

Depósitos Fluviales (Q-f)

Estos depósitos han sido reconocidos en el fondo del valle particularmente del Urubamba así como en las quebradas Chicón y Pumahuanca.

Generalmente estos materiales son inconsolidados y tienen alta permeabilidad; y están constituidos por bancos de gravas, arenas, y arcillas formando una o varias terrazas como es el caso del río Vilcanota, las que en algunos casos vienen siendo explotados de manera irracional.

Sobre los depósitos fluviales de los valles Chicón, Pumahuanca y Vilcanota se ubican muchos asentamientos humanos, terrenos agropecuarios, y caminos vehiculares-peatonales.

Depósitos Palustres y Lacustres (Q-l)

Ha sido evidenciado por medio de fotografías aéreas que en los alrededores de la laguna Piuray se presentan depósitos palustres y lacustres subactuales que evidencia el retroceso de la laguna. Los depósitos lacustres subactuales están compuestos por arcillas intercaladas con diatomitas y niveles de turba. En el sector de Piuray y Huilahuila, tenemos suelos formados por diatomitas, siendo este tipo de suelo el área donde se encuentra el proyecto (Ver **Figura N° 2-3**).



Figura N° 2-3.- Suelo formado por limos diatomáceos (Fuente: E&E Perú S.A. – Trabajos de Campo).

2.3 ESTRATIGRAFÍA

Localmente la estratigrafía de la zona muestra cuatro tipos importantes de estructuras rocosas y depósitos de rocas.

Los depósitos más modernos, los encontramos bordeando las lagunas principales de la Pampa Piuray - Maras y en la parte oeste pegada al pueblo de Chinchero; estos depósitos son clasificados como lacustres y palustres

Los depósitos fluviales han sido reconocidos en el fondo del valle particularmente del Urubamba así como en las quebradas Chicón y Pumahuanca.

Se ha encontrado algunos pequeños afloramientos de rocas volcánicas, compuestas por andesitas, pertenecientes a la Formación Rumicolca, uno de estos pequeños afloramiento se encuentra al sur del poblado de Maras, Chequerec y cerca de Mojo pampa.

Continúa en la secuencia, afloramientos de areniscas, lutitas, arcillas, incluso conglomerados, que según la edad de los restos fósiles, pertenecen a la Formación San Sebastián, ubicada en el pleistoceno inferior, del sistema cuaternario. La Formación San Sebastián prácticamente rodea todo Maras, existiendo grandes áreas de afloramientos el este y oeste del poblado, y en menores exposiciones al Sur.

Al sur del poblado de Chinchero existe un pequeño afloramiento de brechas, constituida por clastos de calizas, lutitas, yesos y otros, las cuales están cementadas por una matriz de composición arcillo

arenosa, y pertenecerían a la Formación Chinchero del Plioceno, no se observa esta roca entre el poblado de Chinchero y Maras.

Finalmente, cerraría la estratigrafía, la Formación Maras del Grupo Yuncaypata del Cretácico Inferior, que aflora por lo menos en el 80 % de la Pampa Piuray-Maras. La Formación Maras, realmente es compleja, requiere de un minucioso estudio geológico, ya que está constituida por rocas sedimentarias del tipo Lutitas de diversos colores, calizas, yesos, anhidritas, halitas, etc.

La Columna Estratigráfica de la Pampa Piuray - Maras, se muestra en la **Tabla N° 2-2**:

Tabla N° 2-2
Columna Estratigráfica Generalizada Local

| Era | Sistema | Serie | Unidades Estratigráficas | | Descripción | |
|-----------|-------------|----------------------|--------------------------|---|---|---|
| Cenozoico | Cuaternario | Holoceno | Depósitos Fluviales | Q-f | Bancos de gravas, arenas y arcillas | |
| | | | Depósitos Lacustres | Q-l | Arcillas intercaladas con diatomitas y niveles de turba | |
| | Cuaternario | Pleistoceno | Formación San Sebastián | Q-sa | Areniscas y lutitas fluviales con niveles diatomíticos y calcáreos | |
| | Neógeno | Plioceno | Formación Chinchero | Np-cc | Brechas de matriz arcillo-arenosa y clastos de caliza yesos y lutitas | |
| | Paleógeno | Oligoceno | Gpo. San Jerónimo | Peo-sj | Areniscas feldespáticas intercaladas con limolitas y algunos bancos de conglomerados de origen fluvial. | |
| | | Eoceno | | | | |
| Paleoceno | | Fm. Quilque y Chilca | Pp-qc | Lutitas rojas con láminas de yeso, margas y areniscas calcáreas de medios lacustres | | |
| Mesozoico | Cretáceo | Superior | Gpo. Yuncaypata | Fm. Puquin | Ks-pu | Calizas, margas, lutitas negras ricas en materia orgánica asociadas a yesos laminares |
| | | | | Fm. Ayavacas | Kis-ay | Calizas con afloramiento caótico |
| | | Inferior | | Fm. Maras | Ki-ma | Mezcla de yesos, lutitas y escasamente calizas producto de deformaciones diapíricas |

Fuente: INGEMMET

2.4 GEODINÁMICA INTERNA (SISMICIDAD)

La zona de estudio se localiza en la zona 02 del Mapa de Zonificación Sísmica del Perú y corresponde a la zona de sismicidad media.

De acuerdo a las características del subsuelo de cimentación, según la norma de diseño sismo resistente (NTE - 030), se tomaron los siguientes valores para cada una de las zonas identificadas a lo largo de la ruta de línea:

| | | |
|--------------------------|---|---------------------------|
| Zonificación del terreno | : | Limos de baja plasticidad |
| • Tipo de Suelos | : | S4 (Suelos excepcionales) |
| • Factor de Zona | : | $Z = 0,30$ |
| • Clasificación de Suelo | : | $S4 = 1,40$ |
| • Periodo Predominante | : | $Tp = 0,90$ |

2.5 GEODINÁMICA EXTERNA

Durante la fase de reconocimiento de campo del área de trabajo y sus alrededores, no se han apreciado riesgo geológico por procesos de geodinámica externa que pudieran afectar la vulnerabilidad de la obra.

3 EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA

3.1.1 DESCRIPCIÓN HIDROGRÁFICA

El área de influencia directa del presente estudio comprende la parte baja de la zona de confluencia del flujo superficial y sub-superficial hacia la Laguna Piuray (aproximadamente el área del proyecto se encuentra a una distancia de 260 m de la Laguna Piuray).

Hidrográficamente, el área de estudio forma parte de la subcuenca del Afluente Huarocondo que es tributario por la margen izquierda de la cuenca del río Urubamba el cual forma parte del Sistema Hidrográfico del Atlántico.

La Laguna Piuray posee un área aproximada de 40,70 km² y una cota superficial estimada en 3 693 msnm, cuya subcuenca nace sobre altitudes de 4 515 msnm, teniendo como fuentes de alimentación los aportes de las precipitaciones y del flujo subsuperficial. En épocas de avenidas el aporte principal proviene de la parte alta de la subcuenca de la Laguna Piuray (microcuenca del río Cusihuaygo). Por otro lado, la Laguna Piuray presenta mayor aporte en la época de sequía del flujo subsuperficial proveniente del lado oeste, el cual presenta hondonadas y superficies de bajas pendientes (principalmente rangos de 1% a 2% y 4% a 7%), estas características generan la infiltración parcial del flujo superficial, propiciándose la recarga de la Laguna en esta época. Finalmente la Laguna Piuray realiza la descarga de agua hacia el río Corimarca.

De la interpretación del sistema hidrográfico realizado en campo, se ha establecido que el nivel que presenta la Laguna Piuray influye directamente a la zona del proyecto por lo que se ha considerado un análisis de las microcuencas que abastecen de agua a la Laguna Piuray, de esta manera obtener parámetros geomorfológicos que permitan establecer una conceptualización del sistema hidrográfico de la Laguna Piuray.

Esquema fluvial de la Subcuenca de la Laguna Piuray

En la **Figura N° 3-1** se presenta el diagrama fluvial:

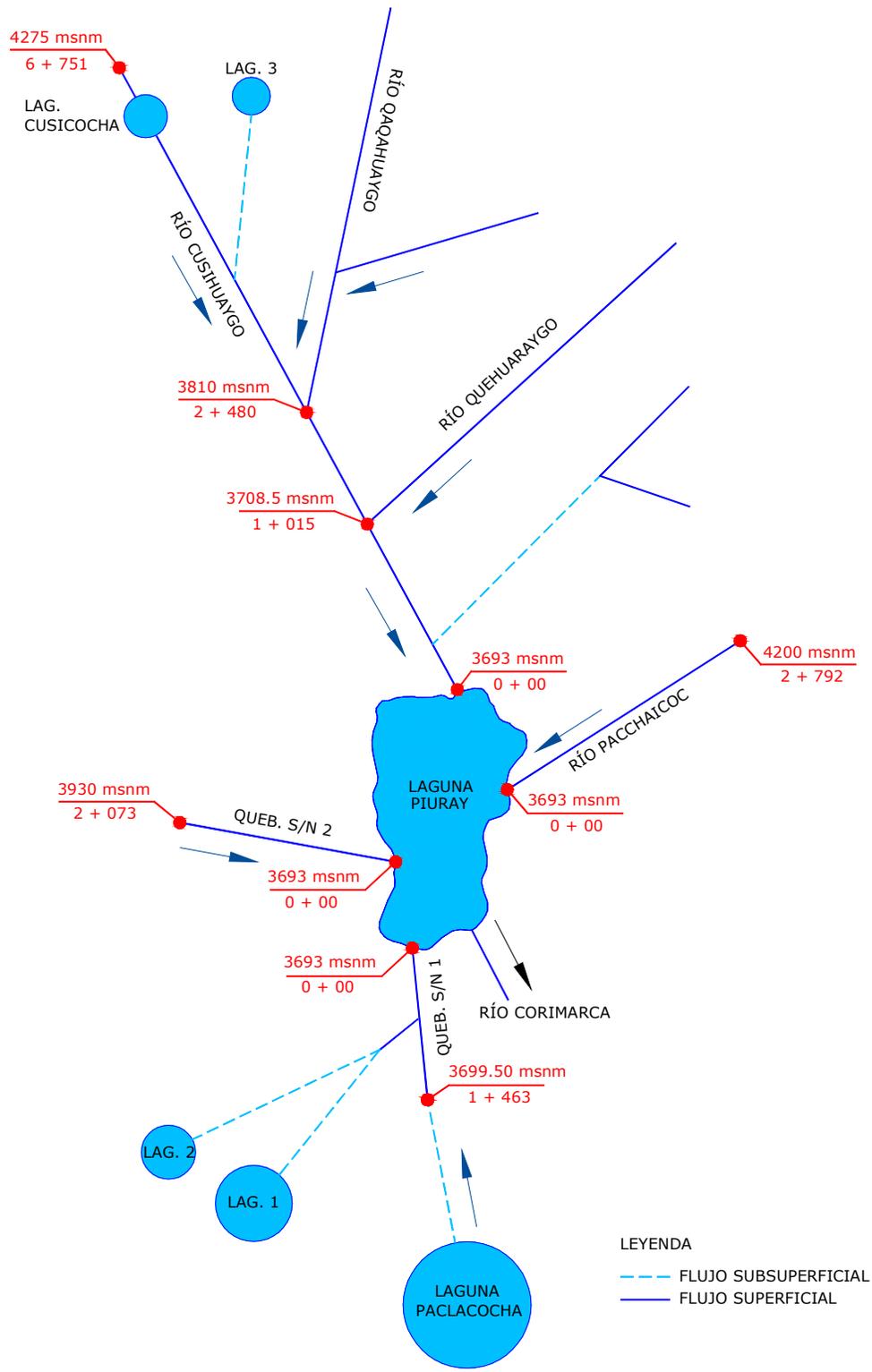


Figura N° 3-1.- Esquema Fluvial de la Subcuenca de la Laguna Piuray.

Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca

La geomorfología estudia de manera descriptiva y explicativa el relieve de la Tierra, el cual es el resultado de un balance dinámico, que evoluciona en el tiempo entre procesos constructivos y destructivos, dinámica que se conoce de manera genérica como ciclo geomorfológico.

La morfología de una cuenca queda definida por su forma, para un mejor enfoque sobre el estudio de las cuencas se establece los parámetros de forma, parámetros de relieve y parámetros de la red hidrográfica, generalmente. Las características físicas desempeñan un papel esencial en la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica. Recíprocamente, el carácter hidrológico de la misma contribuye considerablemente a formar sus características físicas.

Las microcuencas que abastecen de agua a la Laguna Piuray están constituidas principalmente por: 1. Microcuenca del Río Cusihuaygo; 2. Microcuenca de la Quebrada S/N 1; 3. Microcuenca del Río Pacchaicoc y 4. Microcuenca de la Quebrada S/N 2.

Como parte de la investigación hidrológica, se ha obtenido los principales parámetros geomorfológicos de las microcuencas que rodean a la Laguna Piuray como: área, perímetro, longitud del curso del río, cota mayor, cota menor, pendiente, altitud media, índice de compacidad, factor de forma.

En la **Tabla N° 3-1** se puede observar los valores de estos parámetros calculados para las microcuencas que forman parte de la subcuenca Piuray.

Tabla N° 3-1
Parámetros Geomorfológicos – Microcuencas de la Laguna Piuray

| Parámetros Geomorfológicos | | Microcuenca del Río Cusihuaygo | Microcuenca del Río Pacchaicoc | Microcuenca de la Quebrada S/N 2 | Microcuenca de la Quebrada S/N 1 |
|---------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| De Forma | Área (km ²) | 20,94 | 2,30 | 1,49 | 5,33 |
| | Perímetro (Km) | 20,70 | 7,74 | 5,35 | 10,47 |
| | Coefficiente de Compacidad | 1,28 | 1,44 | 1,24 | 1,28 |
| | Factor de Forma | 0,46 | 0,30 | 0,35 | 0,26 |
| | Rectángulo Equivalente (Km) | Lado mayor =7,59 Lado menor =2,76 | Lado mayor =3,14 Lado menor =0,73 | Lado mayor =1,89 Lado menor =0,78 | Lado mayor =3,85 Lado menor =1,38 |
| De Relieve | Amplitud de Relieve (msnm) | 3693-4520 | 3693-4305 | 3693-3979 | 3693-3760 |
| | Altura Media (msnm) | 4015,39 | 4011,79 | 3841,93 | 3721,62 |
| Relativos a la Red Hidrográfica | Longitud del curso de agua más largo (Km) | 6,75 | 2,79 | 2,07 | 2,82 |
| | Longitud total de cursos de agua (Km) | 20,45 | 2,79 | 2,07 | 4,54 |
| | Amplitud de la cota del cauce principal (msnm) | 3693-4275 | 3693-4200 | 3693-3930 | 3693-3730 |

| Parámetros Geomorfológicos | | Microcuenca del Río Cusihuaygo | Microcuenca del Río Pacchaicoc | Microcuenca de la Quebrada S/N 2 | Microcuenca de la Quebrada S/N 1 |
|--------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Pendiente Media del cauce principal | 0,086 | 0,182 | 0,114 | 0,013 |
| | Orden de la quebrada | 3 | 1 | 1 | 2 |
| | Densidad de drenaje (km/km ²) | 0,98 | 1,21 | 1,40 | 0,85 |
| | Extensión media del escurrimiento superficial (km) | 0,26 | 0,21 | 0,18 | 0,29 |
| | Frecuencia de ríos (ríos/km ²) | 0,14 | 0,43 | 0,67 | 0,38 |
| Tiempo de Concentración | Fórmula de Kirpich (horas) | 0,74 | 0,28 | 0,27 | 0,78 |
| Torrencialidad | Coefficiente de Torrencialidad (ríos/km ²) | 0,29 | 0,43 | 0,67 | 0,38 |
| Masividad | Coefficiente de Masividad (m/km ²) | 191,76 | 1 744,26 | 2 587,16 | 698,89 |

De los parámetros obtenidos, la variabilidad del nivel de la Laguna Piuray se encuentra afectada principalmente a la Microcuenca del Río Cusihuaygo por su mayor extensión superficial y el alto grado de respuesta a las crecidas en épocas de avenidas. Por otro lado, la Microcuenca de la Quebrada S/N 1 presenta un aporte de flujo de agua más lento, el cual hace que la disminución del nivel de la Laguna aún en época de sequías sea gradual y lenta por el aporte lento que otorga a la Laguna Piuray. La pendiente media que presenta el cauce principal de la Microcuenca de la Quebrada S/N 1 es de 1,30% (bajo) el cual adicional a cierta permeabilidad de los estratos (de acuerdo a la inspección de campo) determinaría un aporte al acuífero libre por infiltración, estimándose la generación de un flujo subsuperficial el cual presenta una gradiente hidráulica de 0,65% (evaluado en campo) con dirección al área de la Laguna Piuray en el área donde se proyectará las estructuras.

Curva hipsométrica

Llamada también Curva de Área – Elevación, representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes expresadas en km² o porcentaje. A continuación se presenta las curvas hipsométricas para cada una de las microcuencas:

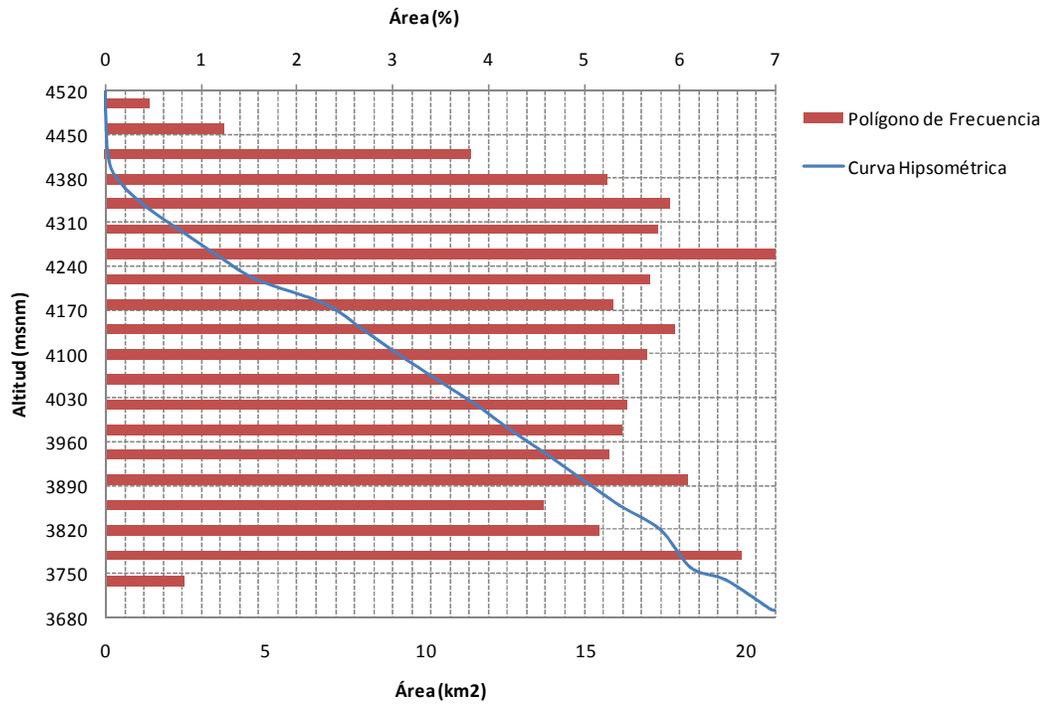


Figura N° 3-2.- Curva Hipsométrica - Microcuenca del Río Cusihuaygo.

De la **Figura N° 3-2** se establece que la microcuenca presenta un valle en forma de “U”, presentando cumbres escarpadas.

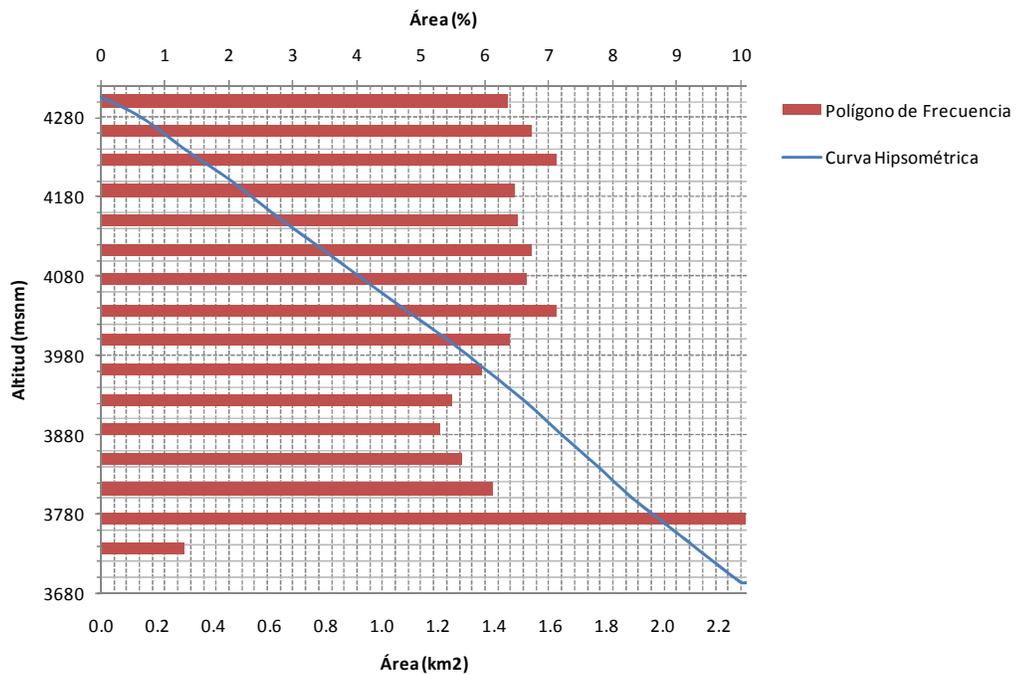


Figura N° 3-3.- Curva Hipsométrica - Microcuenca del Río Pacchaicoc.

De la **Figura N° 3-3** se establece que la microcuenca presenta un valle en forma de “U”.

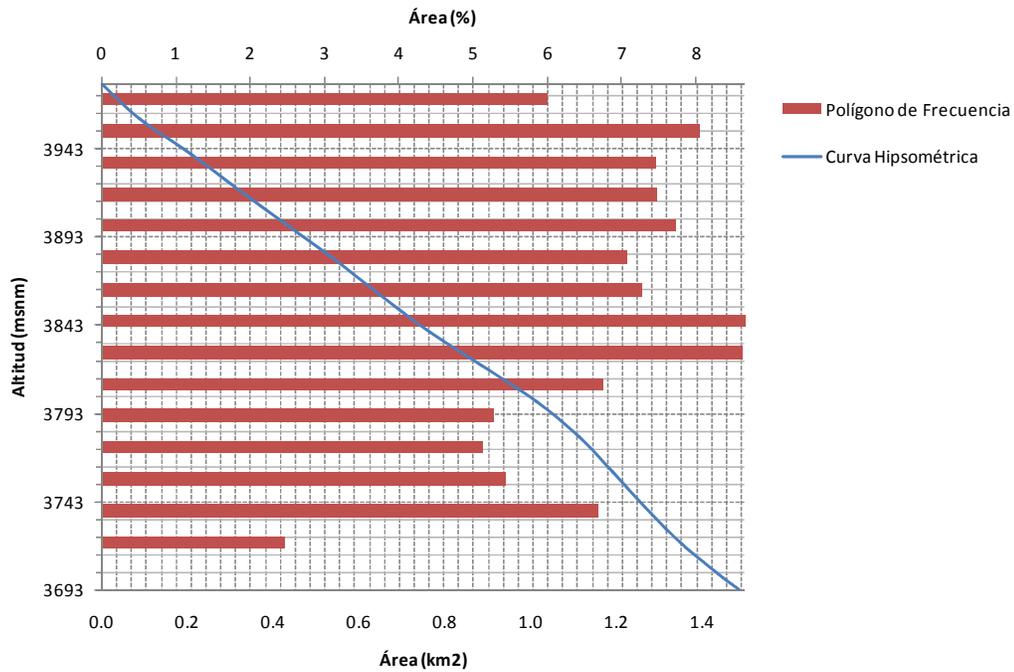


Figura N° 3-4.- Curva Hipsométrica - Microcuenca de la Quebrada S/N 2.

De la **Figura N° 3-4** se establece que la microcuenca presenta un valle en forma de “U”.

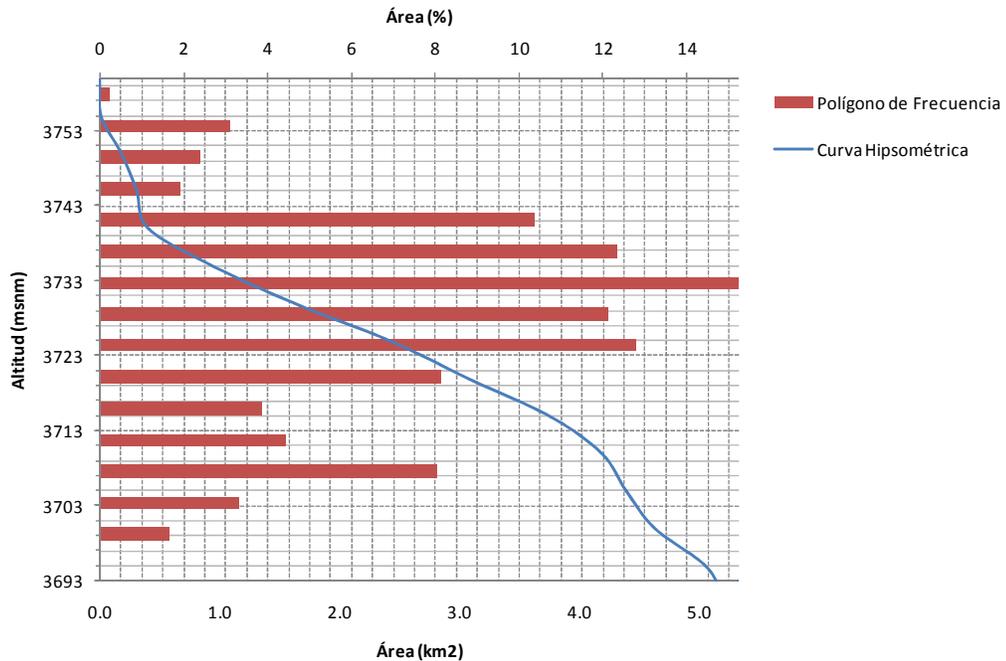


Figura N° 3-5.- Curva Hipsométrica - Microcuenca de la Quebrada S/N 1.

De la **Figura N° 3-5** se establece que la microcuenca presenta un valle extenso con llanuras intermedias y cumbres escarpadas.

3.1.2 ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA O UNIDAD HIDROGRÁFICA

DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE VIDA

Del “Mapa Ecológico del Perú” Elaborado por Tosi y publicado por ONERN (1976) se pueden diferenciar los siguientes pisos ecológicos en la subcuenca de la Laguna Piuray:

Bosque Húmedo Montano Subtropical (bh-MS)

Abarca las planicies con relieve moderadamente llano y parte de las laderas altas, los cuales presentan relieves predominantemente empinados. Altitudinalmente varía entre 2800 msnm y 3800 msnm. Esta zona de vida está ubicada en la provincia de humedad (Húmeda).

Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical (pmh-SaS)

La topografía corresponde a zonas montañosas y altiplanicies, con relieves abruptos y ondulados respectivamente, los que varían de 3900 msnm a 4500 msnm. Esta zona de vida está ubicada en la provincia de humedad: Perhúmeda.

3.2 ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE VARIABLES METEOROLÓGICA E HIDROMETEOROLÓGICA

3.2.1 TEMPERATURA

Para el estudio de la temperatura se ha utilizado como referencia la información a nivel mensual de la Estación Yucay, la más cercana al área del proyecto y disponible en el SENAMHI.

A continuación se presenta los valores de temperatura a nivel mensual en la **Tabla N° 3-2 y Figura N° 3-6**:

Tabla N° 3-2
Temperatura Promedio Mensual – Estación Yucay (° C)

| N° | Año | Meses | | | | | | | | | | | | Promedio Anual |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | |
| 1 | 1981 | 15,00 | 14,60 | 15,10 | 14,20 | 14,30 | 12,80 | 12,10 | 12,50 | 13,50 | 15,40 | 15,30 | 14,80 | 14,13 |
| 2 | 1982 | 14,80 | 15,20 | 14,80 | 14,40 | 13,60 | 12,40 | 12,80 | 13,30 | 14,60 | 15,40 | 15,30 | 16,40 | 14,42 |
| Promedio Multianual (a una altura de 3481 msnm) | | | | | | | | | | | | | | 14,28 |

Fuente: SENAMHI

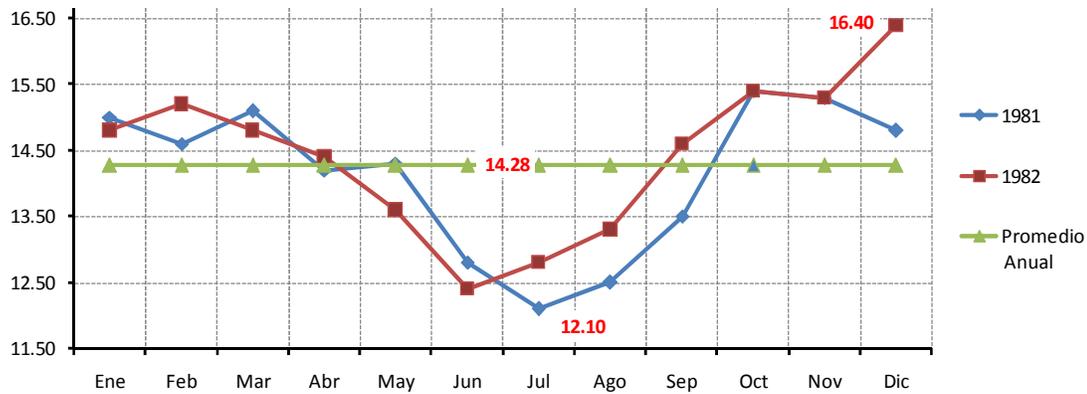


Figura N° 3-6.- Temperatura Promedio Mensual – Estación de Yucay (1981-1982)

3.2.2 PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL

En la **Tabla N° 3-3** se presenta los valores a nivel mensual de las precipitaciones mensuales totales. Es importante que los datos sombreados inicialmente no registraron datos de origen, siendo completados con los valores promedios.

**Tabla N° 3-3
Precipitación Total Mensual (mm)**

| N° | Año | Meses | | | | | | | | | | | | Promedio Anual |
|----|-------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------------|
| | | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | |
| 1 | 1968 | 122,13 | 76,94 | 84,54 | 6,50 | 0,00 | 2,44 | 58,00 | 8,00 | 11,30 | 15,20 | 88,40 | 56,90 | 530.34 |
| 2 | 1969 | 172,90 | 56,00 | 74,30 | 11,40 | 0,00 | 7,00 | 12,00 | 2,80 | 4,00 | 2,00 | 52,20 | 66,00 | 460.60 |
| 3 | 1970 | 97,80 | 73,90 | 78,70 | 80,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 5,40 | 26,60 | 50,10 | 60,76 | 81,64 | 556.90 |
| 4 | 1971 | 122,13 | 76,94 | 84,54 | 10,20 | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 3,50 | 27,60 | 47,80 | 121,80 | 499.71 |
| 5 | 1972 | 132,80 | 45,70 | 83,60 | 20,50 | 1,70 | 0,50 | 3,10 | 13,80 | 16,00 | 6,50 | 54,70 | 90,60 | 469.50 |
| 6 | 1973 | 149,40 | 104,30 | 58,70 | 44,90 | 14,70 | 2,50 | 9,50 | 11,50 | 5,40 | 30,20 | 46,60 | 56,50 | 534.20 |
| 7 | 1974 | 131,40 | 95,10 | 81,70 | 37,70 | 3,10 | 14,10 | 0,00 | 24,50 | 6,40 | 30,40 | 39,40 | 101,90 | 565.70 |
| 8 | 1975 | 99,40 | 120,60 | 35,40 | 52,30 | 14,60 | 0,30 | 0,30 | 8,10 | 9,50 | 17,70 | 35,50 | 141,20 | 534.90 |
| 9 | 1976 | 87,00 | 78,90 | 117,20 | 42,70 | 9,30 | 5,50 | 0,20 | 0,10 | 23,60 | 1,90 | 37,70 | 80,30 | 484.40 |
| 10 | 1977 | 86,40 | 66,80 | 70,70 | 42,00 | 0,60 | 0,00 | 0,20 | 6,20 | 11,40 | 56,00 | 83,10 | 78,40 | 501.80 |
| 11 | 1978 | 168,50 | 73,90 | 107,80 | 42,70 | 15,40 | 1,40 | 0,40 | 0,00 | 4,00 | 5,40 | 72,90 | 103,60 | 596.00 |
| 12 | 1979 | 118,20 | 44,40 | 82,80 | 25,20 | 11,70 | 0,00 | 0,30 | 6,90 | 22,60 | 3,40 | 85,60 | 50,00 | 451.10 |
| 13 | 1980 | 47,60 | 73,90 | 108,60 | 8,60 | 1,40 | 0,00 | 5,00 | 0,90 | 2,80 | 38,70 | 52,90 | 59,70 | 400.10 |
| 14 | 1981 | 138,60 | 84,60 | 92,60 | 43,60 | 0,40 | 2,00 | 0,00 | 12,00 | 15,50 | 67,40 | 87,20 | 66,70 | 610.60 |
| 15 | 1982 | 157,70 | 82,10 | 106,90 | 50,90 | 0,00 | 0,80 | 0,00 | 3,10 | 0,70 | 34,50 | 66,70 | 69,30 | 572.70 |
| | Mínimo | 47.60 | 76.94 | 84.54 | 34.61 | 5.13 | 2.44 | 6.07 | 6.97 | 10.89 | 25.80 | 60.76 | 81.64 | 2.44 |
| | Promedio | 122.13 | 76.94 | 84.54 | 34.61 | 5.13 | 2.44 | 6.07 | 6.97 | 10.89 | 25.80 | 60.76 | 81.64 | 517.90 |
| | Máximo | 172.90 | 120.60 | 117.20 | 80.00 | 15.40 | 14.10 | 58.00 | 24.50 | 26.60 | 67.40 | 88.40 | 141.20 | 172.90 |
| | Desv. Est. | 34.22 | 20.14 | 21.00 | 20.54 | 6.13 | 3.86 | 14.84 | 6.57 | 8.30 | 20.92 | 18.76 | 26.04 | 58.49 |

La consistencia de la información se puede observar en el histograma de precipitación mostrada en la **Figura N° 3-7**. Este gráfico representa la serie histórica de precipitación de la estación Yucay y por inspección puede inferirse que el registro muestra homogeneidad en su comportamiento, presentando la variación estacional y cíclica de los valores de esta variable, por consiguiente, los datos de precipitación son considerados consistentes; por lo que se justifica considerar esta información como base para la generación de las precipitaciones máximas.

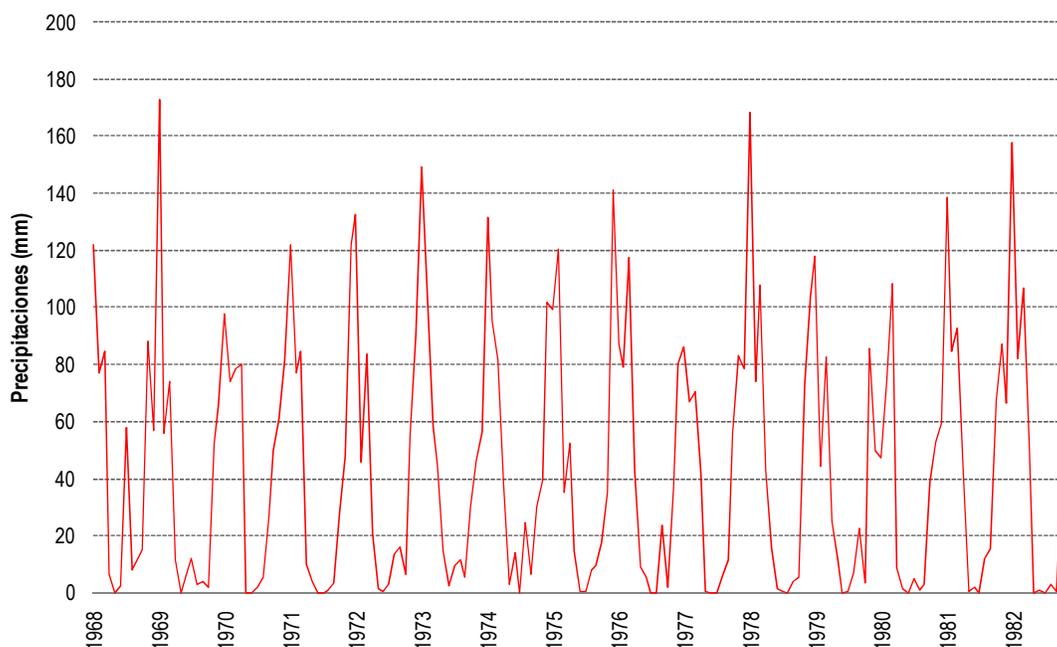


Figura N° 3-7.- Histograma de Precipitación Total Mensual – Estación Yucay (1968-1982)

3.2.3 PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24H

En la **Tabla N° 3-4** se presenta los valores a nivel mensual de las precipitaciones máximas en 24 horas. Es importante que los datos sombreados inicialmente no registraron datos de origen, siendo completados con los valores promedios.

**Tabla N° 3-4
Precipitación Máxima 24H (mm)**

| N° | Año | Meses | | | | | | | | | | | |
|----|------|-------|--------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 1 | 1968 | 20,11 | 27,98 | 18,29 | 4,00 | 0,00 | 1,44 | 30,00 | 3,50 | 3,60 | 6,20 | 14,70 | 21,50 |
| 2 | 1969 | 30,80 | 11,90 | 18,00 | 6,80 | 0,00 | 3,80 | 6,80 | 2,80 | 2,00 | 2,00 | 18,00 | 11,20 |
| 3 | 1970 | 14,80 | 16,80 | 13,90 | 26,80 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 3,40 | 13,80 | 9,80 | 13,66 | 17,21 |
| 4 | 1971 | 20,11 | 27,98 | 18,29 | 3,70 | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 2,50 | 14,90 | 10,80 | 29,50 |
| 5 | 1972 | 23,40 | 13,00 | 12,80 | 9,10 | 1,70 | 0,30 | 2,00 | 5,80 | 11,90 | 2,00 | 9,90 | 19,30 |
| 6 | 1973 | 29,10 | 171,10 | 16,80 | 15,60 | 4,60 | 2,20 | 3,80 | 7,70 | 1,30 | 5,10 | 16,30 | 12,10 |

| N° | Año | Meses | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 7 | 1974 | 20,40 | 11,60 | 17,00 | 11,50 | 1,50 | 6,40 | 0,00 | 9,60 | 6,40 | 12,10 | 9,10 | 25,00 |
| 8 | 1975 | 21,30 | 27,40 | 9,50 | 10,90 | 6,90 | 0,30 | 0,30 | 6,70 | 8,30 | 7,10 | 10,50 | 23,00 |
| 9 | 1976 | 13,40 | 15,60 | 29,30 | 11,10 | 6,40 | 3,00 | 0,10 | 0,10 | 6,10 | 0,70 | 10,70 | 25,20 |
| 10 | 1977 | 15,40 | 12,00 | 18,40 | 16,00 | 0,60 | 0,00 | 0,20 | 6,20 | 10,00 | 15,80 | 16,00 | 13,80 |
| 11 | 1978 | 19,60 | 12,80 | 17,60 | 24,70 | 7,00 | 1,40 | 0,40 | 0,00 | 1,60 | 3,00 | 10,40 | 13,60 |
| 12 | 1979 | 18,90 | 13,70 | 15,40 | 10,40 | 4,80 | 0,00 | 0,30 | 6,90 | 22,30 | 2,00 | 14,00 | 7,40 |
| 13 | 1980 | 8,30 | 16,40 | 22,80 | 3,60 | 1,20 | 0,00 | 5,00 | 0,90 | 1,90 | 11,30 | 12,80 | 12,40 |
| 14 | 1981 | 26,80 | 14,90 | 15,00 | 17,70 | 0,40 | 2,00 | 0,00 | 4,90 | 5,70 | 18,00 | 23,30 | 13,40 |
| 15 | 1982 | 19,20 | 26,50 | 31,30 | 15,10 | 0,00 | 0,80 | 0,00 | 1,70 | 0,40 | 11,40 | 14,70 | 13,50 |
| Desv. Est. | | 5,91 | 40,10 | 5,74 | 7,03 | 2,71 | 1,83 | 7,66 | 3,01 | 5,99 | 5,67 | 3,78 | 6,36 |

Fuente: SENAMHI

La consistencia de la información se puede observar en el histograma de precipitación mostrada en la **Figura N° 3-8.**

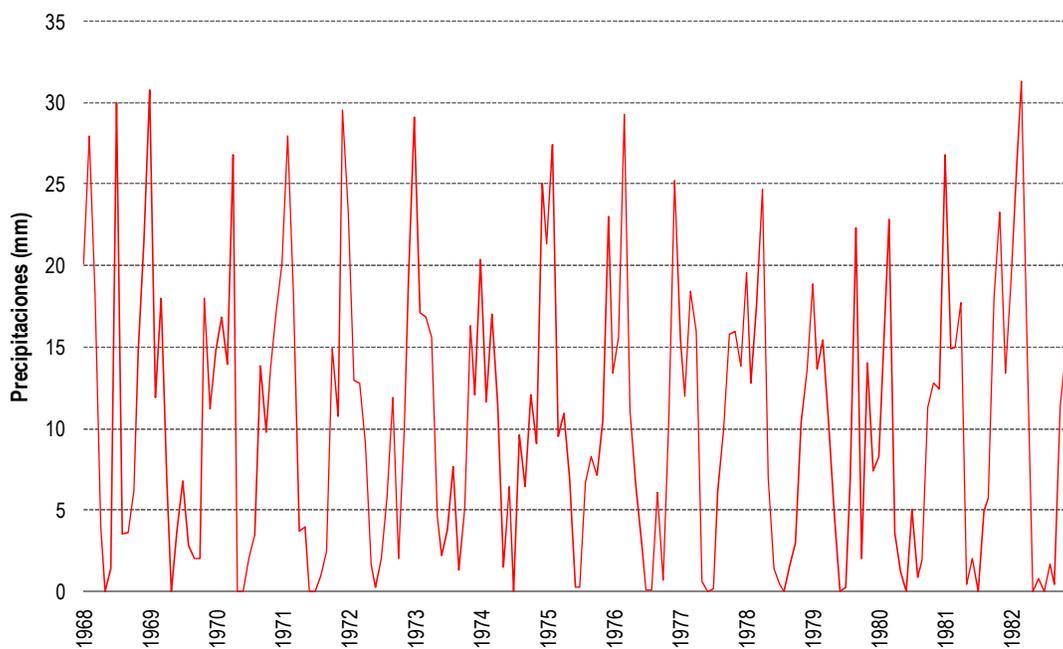


Figura N° 3-8.- Histograma de Precipitación Máxima 24H – Estación Yucay (1968-1982)

3.3 ANALISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS

3.3.1 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

Para determinar la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno, se ha realizado un proceso estadístico haciendo uso del software Extrem, obteniéndose los resultados que se muestran en la **Tabla N° 3-5**:

Tabla N° 3-5
Resultados de la Precipitación Máxima en 24 Horas (Yucay)

| Jaehrlichkeiten | | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
|-----------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Verteilung | R | Wert |
| Normal | 1 | 26,5 | 29,6 | 31,2 | 32,6 | 34,1 | 35,1 | 36 | 37,1 | 37,9 |
| Gamma | 2 | 26,3 | 29,6 | 31,3 | 32,9 | 34,6 | 35,8 | 37 | 38,4 | 39,4 |
| Log-Normal-2 | 3 | 26,3 | 29,5 | 31,4 | 33 | 34,9 | 36,2 | 37,5 | 39,1 | 40,3 |
| Log. Gamma | 4 | 26,2 | 26,7 | 31,8 | 33,6 | 35,8 | 37,4 | 38,9 | 40,8 | 42,2 |
| Gumbel | 5 | 25,9 | 29,2 | 31,3 | 33,4 | 36,1 | 38,1 | 40,1 | 42,7 | 44,7 |

De los resultados obtenidos se determinó que la distribución Normal se ajusta más a la serie de datos analizada.

3.3.2 PRECIPITACIÓN MÁXIMA MENSUAL

En la **Tabla N° 3-6**, se presenta los registros de las precipitaciones máximas mensuales para diferentes periodos de retorno:

Tabla N° 3-6
Resultados de la Precipitación Máxima Mensual (Yucay)

| Jaehrlichkeiten | | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Verteilung | R | Wert |
| GAMMA | 1 | 129,5 | 151,1 | 163,4 | 173,9 | 186,4 | 194,9 | 203 | 213,1 | 220,4 |
| PEARSON-3 | 2 | 130,8 | 151,6 | 162,7 | 171,9 | 182,3 | 189,3 | 195,7 | 203,6 | 209,1 |
| LOG-NORMAL-3 | 3 | 130,8 | 151,6 | 162,7 | 171,9 | 182,3 | 189,3 | 195,8 | 203,6 | 209,1 |
| NORMAL | 4 | 131 | 151,7 | 162,5 | 171,5 | 181,6 | 188,3 | 194,4 | 201,9 | 207,1 |
| LOG-NORMAL-2 | 5 | 128,7 | 150,6 | 163,5 | 174,9 | 188,8 | 198,6 | 208 | 220,1 | 229 |
| LOG-GAMMA | 6 | 128,4 | 151,4 | 165,3 | 177,8 | 193,1 | 204,2 | 215 | 229 | 239,3 |
| GUMBEL | 7 | 127 | 148,7 | 163,1 | 176,9 | 194,8 | 208,2 | 221,6 | 239,2 | 252,5 |
| LOG-GUMBEL | 8 | 124,8 | 148 | 165,7 | 184,7 | 212,6 | 236,2 | 262,3 | 301,2 | 334,4 |

De lo obtenido con el software Extrem, la distribución Gamma presenta mejor ajuste.

3.3.3 CURVA-INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF)

Esta curva IDF tiene como finalidad principal proporcionar información pluviométrica para estimar las crecidas asociadas a una cierta frecuencia de ocurrencia. La forma más común de desarrollarlo es utilizando una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y la frecuencia o periodo de retorno. Esta relación múltiple nos conduce a las llamadas curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia).

Duración de lluvia

Comúnmente la duración de la lluvia de diseño considerada es igual al tiempo de concentración para el área de drenaje en estudio, debido a que al terminar dicho tiempo, la escorrentía alcanza su valor pico, al contribuir toda el área al flujo en la salida.

Periodo de retorno

El periodo de retorno está íntimamente ligado a la importancia de la obra, así para efectos de diseño el valor T se seleccionará de acuerdo a estándares de diseño o por juicio experto.

A continuación, se presenta el análisis de las precipitaciones que han conllevado a determinar las diferentes intensidades, duraciones y periodos de retorno, calculadas para la estación Yucay. En primer lugar se ha calculado las diferentes precipitaciones máximas en 24 horas y precipitaciones máximas mensuales para diferentes periodos de retorno utilizando la distribución Gumbel. Para los cálculos de las intensidades, se ha utilizado las siguientes expresiones:

$$I = P / t$$

$$I = K / t^m \text{ (K y m son factores característicos de la Zona)}$$

$$\ln(KT) = 3.1382 \ln(P_{\text{máx. 24}}) - 2.1382 \ln(P_{\text{máx. mes}}) \text{ donde T es el periodo de retorno}$$

$$m = \ln(30 * P_{24}/P_{\text{mes}}) / \ln 30$$

En la **Tabla N° 3-7** y la **Figura N° 3-9**, se muestra los valores de las intensidades de la precipitación para diferentes tiempos de duración y proyectados para distintos periodos de retorno.

Tabla N° 3-7
Intensidades Máximas (Yucay)

| Periodo de Retorno | Intensidad Máxima (mm/hora) | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Duración (minutos) | | | | | | | |
| | 10 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 240 |
| 2 | 15,7 | 8,7 | 6,0 | 4,8 | 4,2 | 3,7 | 3,3 | 2,9 |

| | | | | | | | | |
|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 16,4 | 9,3 | 6,5 | 5,2 | 4,5 | 4,0 | 3,6 | 3,1 |
| 10 | 16,7 | 9,5 | 6,6 | 5,4 | 4,7 | 4,1 | 3,8 | 3,3 |
| 20 | 16,9 | 9,7 | 6,8 | 5,6 | 4,8 | 4,3 | 3,9 | 3,4 |
| 50 | 17,1 | 9,9 | 7,0 | 5,7 | 4,9 | 4,4 | 4,0 | 3,5 |
| 100 | 17,2 | 10,0 | 7,1 | 5,8 | 5,0 | 4,5 | 4,1 | 3,6 |
| 200 | 17,3 | 10,1 | 7,2 | 5,9 | 5,1 | 4,6 | 4,2 | 3,6 |
| 500 | 17,3 | 10,1 | 7,2 | 5,9 | 5,2 | 4,6 | 4,2 | 3,7 |
| 1000 | 17,4 | 10,2 | 7,3 | 6,0 | 5,2 | 4,7 | 4,3 | 3,7 |

Fuente: E&E Perú S.A

Curva I-D-F

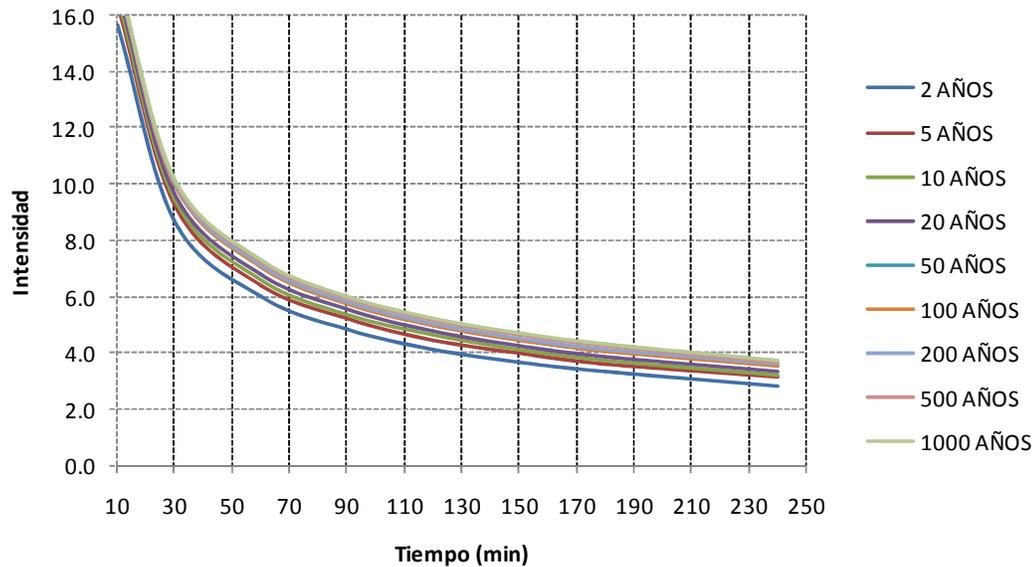


Figura N° 3-9.- Curva Intensidad – Periodo – Frecuencia.

3.3.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración "Tc", es el tiempo que demora el agua en su viaje desde el punto más distante de una cuenca hasta el punto de interés. Se ha determinado según el método del Hidrograma Unitario Sintético, que considera como características físicas principales de las microcuencas a la longitud y pendiente del curso principal. Utilizando el concepto de tiempo de retraso como un índice del tiempo de concentración de la escorrentía de las subcuenca, se ha obtenido el tiempo de concentración.

La fórmula empírica que estima el tiempo de concentración (Tc) es la siguiente:

$$t_p = C_t \times (L \times L_c \times S^{-0.5})^n$$

$$C_t = 0.60 \times S^{-0.5}$$

Donde:

- t_p : Tiempo de concentración, (horas).
 C_t : Coeficiente, dependiente de la orografía.
 L : Longitud del curso principal (millas).
 L_c : Distancia del centro de gravedad al curso principal (millas).
 S : Pendiente (decimal).
 n : 0,38

Como referencia, en la **Tabla N° 3-8**, se presentan características y tiempos de concentración de las microcuencas que aportan a la Laguna Piuray:

Tabla N° 3-8
Características y Tiempo de Concentración

| Descripción | Microcuenca del Río Cusihuaygo | Microcuenca del Río Pacchaicoc | Microcuenca de la Quebrada S/N 2 | Microcuenca de la Quebrada S/N 1 |
|---|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Área (km ²) | 20,94 | 2,3 | 1,49 | 5,33 |
| Altura Media (msnm) | 4015,39 | 4011,79 | 3841,93 | 3721,62 |
| Longitud del curso de agua más largo (Km) | 6,75 | 2,79 | 2,07 | 2,82 |
| Pendiente Media del Cauce Principal | 8,60% | 18,20% | 11,40% | 1,30% |
| Fórmula de Kirpich (minutos) | 44,4 | 16,8 | 16,2 | 46,8 |

Fuente: E&E Perú.

3.3.5 DESCARGAS MÁXIMAS CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

Para la conversión de la lluvia en escorrentía hemos empleado el Método Racional Modificado del Prof. D. José Ramón Témez del Centro de Estudios Hidrográficos. Este método es el recomendado por el MOPU (Témez, 1990), pero con modificaciones posteriores (Témez, 1991). La metodología de Témez se basa en el método racional, aplicable a pequeñas cuencas, pero con una serie de modificaciones que amplían su rango de validez hasta los 3000 km².

El método racional modificado utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CIA}{3.6} k$$

Donde:

- Q : Máxima descarga para una frecuencia dada (m³/s).
- C : Coeficiente de escurrimiento.
- I : Intensidad Máxima para una frecuencia determinada, ocurrida en el tiempo de concentración (mm/hr).
- A : Área de drenaje.
- K : Coeficiente de Uniformidad
- 3.6 : Factor de conversión

Para calcular K, utilizamos la siguiente fórmula:

$$k = 1 + \frac{T_C^{1.25}}{T_C^{1.25} + 14}$$

K es función del tiempo de concentración, y tiene en cuenta el error introducido en la hipótesis de uniformidad temporal de la precipitación a medida que crece el tamaño de la cuenca.

Aplicando la fórmula del método racional modificado de acuerdo a las características de las microcuencas, se obtienen los caudales para diversos periodos de retorno conforme se presentan en el **Tabla N° 3-9**:

Tabla N° 3-9
Caudales Máximos Calculados (m³/s)

| Periodo de Retorno | Intensidades Máximas (mm/hr) | | | | Caudales Máximos Generados (m ³ /s) | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Microcuenca del Río Cusihuaygo | Microcuenca del Río Pacchaicoc | Microcuenca de la Quebrada S/N 2 | Microcuenca de la Quebrada S/N 1 | Microcuenca del Río Cusihuaygo | Microcuenca del Río Pacchaicoc | Microcuenca de la Quebrada S/N 2 | Microcuenca de la Quebrada S/N 1 |
| 2 | 7,07 | 11,87 | 12,10 | 6,87 | 18,50 | 5,92 | 2,74 | 4,16 |
| 5 | 7,55 | 12,52 | 12,76 | 7,34 | 19,76 | 6,25 | 2,89 | 4,45 |
| 10 | 7,75 | 12,76 | 13,00 | 7,54 | 20,29 | 6,37 | 2,95 | 4,57 |
| 20 | 7,95 | 13,02 | 13,26 | 7,74 | 20,81 | 6,50 | 3,00 | 4,69 |
| 50 | 8,11 | 13,19 | 13,43 | 7,90 | 21,23 | 6,58 | 3,04 | 4,79 |
| 100 | 8,21 | 13,30 | 13,54 | 8,00 | 21,50 | 6,64 | 3,07 | 4,85 |
| 200 | 8,29 | 13,37 | 13,61 | 8,08 | 21,71 | 6,67 | 3,08 | 4,90 |
| 500 | 8,39 | 13,45 | 13,69 | 8,17 | 21,95 | 6,71 | 3,10 | 4,95 |
| 1000 | 8,46 | 13,52 | 13,76 | 8,25 | 22,15 | 6,75 | 3,12 | 5,00 |
| Coeficiente de Uniformidad [C] | | | | | 1,047 | 1,014 | 1,014 | 1,050 |
| Coeficiente de Escurrimiento (k) | | | | | 0,43 | 0,77 | 0,54 | 0,39 |

3.4 GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS

3.4.1 METODOLOGÍA DE ZONAS DE VIDA

En base al Mapa de Zonas de Vida de la subcuenca se ha podido identificar las zonas de vida involucradas, las cuales se muestran en la **Tabla N° 3-10**:

Tabla N° 3-10
Zonas de Vida

| Descripción | Símbolo | Área (km ²) | Porcentaje (%) | Pp media anual (mm) |
|---|---------|-------------------------|----------------|---------------------|
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 22,88 | 56% | 750 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 17,82 | 44% | 750 |
| Subcuenca de la Laguna Piuray | | 40,70 | 100% | |
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 3,61 | 17% | 750 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 17,33 | 83% | 750 |
| Microcuenca del Río Cusihuaygo | | 20,94 | 100% | |
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 1,81 | 79% | 750 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 0,48 | 21% | 750 |
| Microcuenca del Río Pacchaicoc | | 2,29 | 100% | |
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 1,49 | 100% | 750 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 0,00 | 0% | 750 |
| Microcuenca de la Quebrada S/N 2 | | 1,49 | 100% | |
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 5,33 | 100% | 750 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 0,00 | 0% | 750 |
| Microcuenca de la Quebrada S/N 1 | | 5,33 | 100% | |

El coeficiente de escurrimiento (K) lo determinamos por medio de la relación de evapotranspiración potencial (ETP/P) del “Diagrama Bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge” para cada zona de vida y con este valor y por medio del “Monograma de Movimiento de Agua en Asociaciones Climáticas” determinamos la evapotranspiración actual o real (ETR) en función al porcentaje de la potencial:

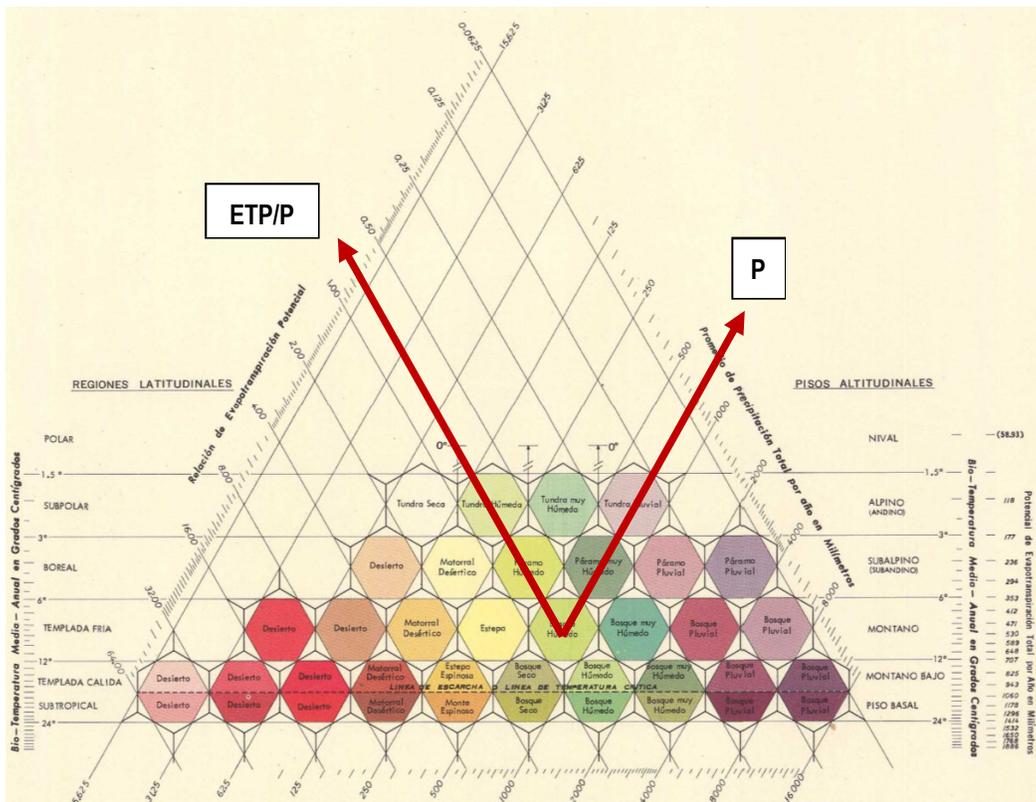


Figura N° 3-10.- Diagrama Bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge.

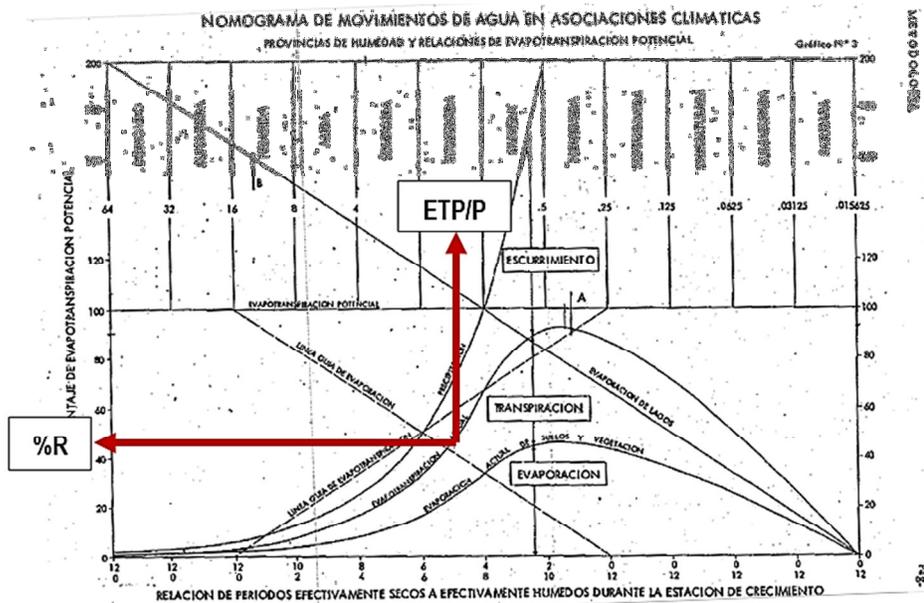


Figura N° 3-11.- Monograma de Movimiento de Agua en Asociaciones Climáticas.

Considerando las siguientes expresiones para determinar el coeficiente de escurrimiento (k):

$$E/P = K ; \quad P = E + ETR$$

Entonces: $K=1-ETR/P$; $ETR=R\%ET$

Despejando: $K = 1 - R\%(ETP/P)$

Así mismo se tuvo en cuenta el factor de corrección regional del coeficiente de escurrimiento teórico, empleándose el valor de 0,72 de acuerdo al “Inventario y Evaluación de aguas superficiales” para la cuenca del río Urubamba, cuenca que abarca a la Subcuenca de la Laguna Piuray.

De acuerdo al coeficiente de escurrimiento y a su factor de corrección determinamos el caudal de descarga media anual:

Tabla N° 3-11
Caudales Medios Generados – Metodología de Zonas de Vida

| Descripción | Símbolo | Área (km²) | Porcentaje (%) | Et/P | R (%) | Coef. De Escorrentía | Pp media anual (mm) | Escorrentía media anual (l/s) |
|---|---------|--------------|----------------|------|-------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 22,88 | 56% | 0,75 | 80% | 0,29 | 750 | 158,91 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 17,82 | 44% | 0,38 | 90% | 0,48 | 750 | 204,94 |
| Subcuenca de la Laguna Piuray | | 40,70 | 100% | | | | | 363,85 |
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 3,61 | 17% | 0,75 | 80% | 0,29 | 750 | 25,09 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 17,33 | 83% | 0,38 | 90% | 0,48 | 750 | 199,33 |
| Microcuenca del Río Cusihuaygo | | 20,94 | 100% | | | | | 224,42 |
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 1,81 | 79% | 0,75 | 80% | 0,29 | 750 | 12,59 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 0,48 | 21% | 0,38 | 90% | 0,48 | 750 | 5,49 |
| Microcuenca del Río Pacchaicoc | | 2,29 | 100% | | | | | 18,49 |
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 1,49 | 100% | 0,75 | 80% | 0,29 | 750 | 10,32 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 0,00 | 0% | 0,38 | 90% | 0,48 | 750 | 0,00 |
| Microcuenca de la Quebrada S/N 2 | | 1,49 | 100% | | | | | 10,32 |
| Bosque Húmedo Montano Subtropical | bh-MS | 5,33 | 100% | 0,75 | 80% | 0,29 | 750 | 36,98 |
| Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical | pmh-SaS | 0,00 | 0% | 0,38 | 90% | 0,48 | 750 | 0,00 |
| Microcuenca de la Quebrada S/N 1 | | 5,33 | 100% | | | | | 36,98 |

Fuente: E&E Perú S.A.

4 FLUJO SUBSUPERFICIAL

4.1 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de poder realizar estimaciones sobre el flujo subterráneo de agua en la zona donde se proyecta el Complejo Recreativo de la Municipalidad de Chincheros; se ha desarrollado una metodología basada en medidas puntuales de permeabilidad; siendo determinado a partir del análisis de los ensayos realizados en las calicatas ubicados dentro de la zona de estudio.

4.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.2.1 PRUEBAS DE CAMPO

Los métodos de campo permiten identificar la conductividad hidráulica de un determinado suelo o roca, en forma directa a través de ensayos que involucran la excavación de pozos superficiales o sondeos diamantinos, en los cuales se efectúan los ensayos de permeabilidad que pueden ser ensayos de agotamiento y/o recuperación. Las pruebas hidráulicas que se realizaron en la zona de estudio consistieron en doce (12) calicatas, donde se registró los niveles de agua, así mismo, se realizó dos (02) pruebas de agotamiento y recuperación y dos (02) pruebas de infiltración.

A continuación se presenta en la **Tabla N° 4-1** las coordenadas de las calicatas realizadas en campo.

Tabla N° 4-1
Ubicación de las Calicatas

| Código | Coordenadas UTM - WGS84-18S | | Cota Superficial | Cota de Agua Subterránea | Nivel Freático |
|--------|-----------------------------|--------------|------------------|--------------------------|----------------|
| | Este | Norte | | | |
| C-01 | 819 546,15 | 8 514 652,09 | 3 728,58 | 3 727,83 | 0,75 |
| C-02 | 819 401,84 | 8 514 609,20 | 3 729,81 | 3 728,77 | 1,04 |
| C-03 | 819 277,16 | 8 514 578,35 | 3 730,53 | 3 729,60 | 0,93 |
| C-04 | 819 249,70 | 8 514 730,90 | 3 730,98 | 3 729,77 | 1,21 |
| C-05 | 819 219,25 | 8 514 843,55 | 3 731,17 | 3 729,67 | 1,50 |
| C-06 | 819 342,73 | 8 514 870,46 | 3 730,38 | 3 729,08 | 1,30 |
| C-07 | 819 481,16 | 8 514 875,59 | 3 729,66 | 3 728,92 | 0,74 |
| C-08 | 819 514,15 | 8 514 793,85 | 3 728,52 | 3 727,95 | 0,57 |
| C-09 | 819 544,93 | 8 514 728,25 | 3 728,50 | 3 727,66 | 0,84 |
| C-10 | 819 427,73 | 8 514 707,04 | 3 729,63 | 3 728,53 | 1,10 |
| C-11 | 819 366,79 | 8 514 770,14 | 3 729,98 | 3 728,83 | 1,15 |
| C-12 | 819 600,90 | 8 514 624,46 | 3 727,72 | 3 726,99 | 0,73 |

Fuente: E&E Perú S.A.

A continuación se presenta en la **Tabla N° 4-2** las características geométricas de las calicatas empleadas para los ensayos de agotamiento y recuperación e infiltración.

Tabla N° 4-2
Características Geométricas de las Calicatas – Ensayos de Permeabilidad

| Código | Cota Superficial | Cota de Agua Subterránea | Nivel Freático | Dimensiones | | |
|--------|------------------|--------------------------|----------------|-------------|-----------|----------|
| | | | | Ancho (m) | Largo (m) | Alto (m) |
| C-01 | 3 728,58 | 3 727,83 | 0,75 | 1,18 | 1,25 | 1,15 |
| C-07 | 3 729,66 | 3 728,88 | 0,78 | 1,10 | 1,10 | 1,35 |
| C-12 | 3 727,72 | 3 726,99 | 0,73 | 0,95 | 0,95 | 1,14 |

4.2.2 PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACIÓN EN POZOS

Las pruebas de agotamiento y recuperación requieren la perforación de un pozo de pequeña profundidad que alcance al menos una parte del cuerpo de aguas subterráneas. La perforación es de sección rectangular, con profundidad suficiente que comprometa parcial o totalmente el cuerpo saturado de aguas subterráneas y para este caso la excavación no se reviste. Al igual que en el caso de pozos tubulares, el nivel de aguas se deprime mediante el uso de la motobomba y posteriormente se mide la recuperación de los niveles de agua siguiendo el Método de Ascenso Verticales.

A partir de la información de niveles y de la geometría del pozo es posible estimar el coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica. Existen varios métodos para interpretar los resultados de este tipo de ensayos y los que se adecuan y se han desarrollado para el tipo de prueba que hemos realizado es el de **Carlos Espinoza (Universidad de Chile)**.

- **Método C. Espinoza C. Universidad de Chile:** En el caso que la perforación atraviese sólo parcialmente la napa, el coeficiente de Permeabilidad se estima a partir de la siguiente relación (C. Espinoza 2004, Universidad de Chile):

$$K = \frac{a.S.}{(2.d + a).(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad a = \sqrt{\frac{L * B}{\pi}}$$

Donde:

S = a.d/0.19 en el sistema MKS.

L= Largo de la Calicata.

B= Ancho de Calicata.

a = Radio equivalente del pozo.

d = profundidad de análisis saturada con agua.

h1, h2 = Profundidad de agotamiento o recuperación del agua.

t1, t2 = Tiempo de medición de acuerdo al agotamiento h1, h2, respectivamente.

A continuación en la **Figura N° 4-1** se presenta el esquema de la prueba de agotamiento y ascenso:

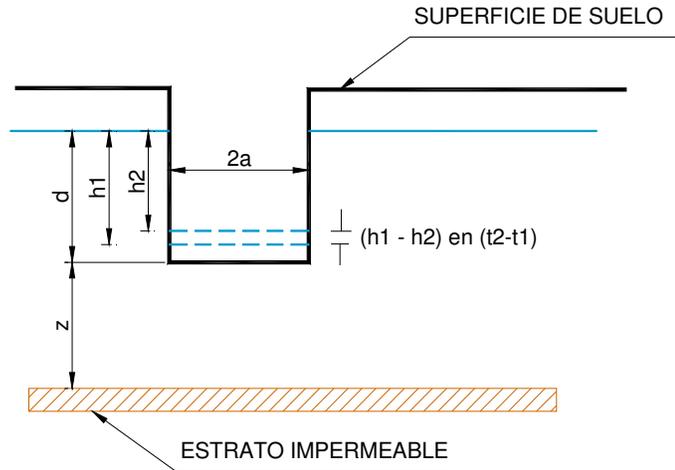


Figura N° 4-1.- Esquema de Prueba – Agotamiento y Recuperación.

4.2.3 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

Para la estimación de la tasa de infiltración en terreno se ha utilizado el método de Porchet, el cual consiste en excavar un cilindro de radio R y luego llenarlo con agua hasta una altura h.

A continuación en la **Figura N° 4-2** se presenta el esquema de la prueba de infiltración:

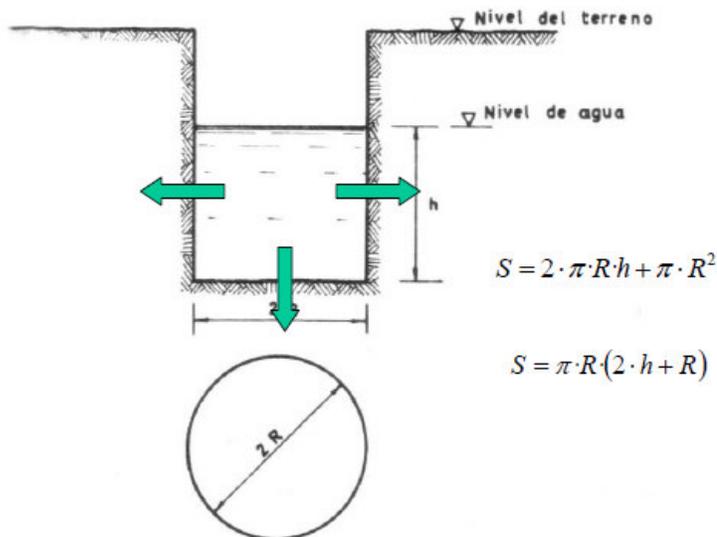


Figura N° 4-2.- Esquema de Prueba de Permeabilidad – Prueba de Infiltración.

Durante los trabajos de campo se ha realizado calcatas rectangulares, por lo que preliminarmente se ha obtenido un radio equivalente para poder aplicar este método.

La superficie a través de la cual se infiltra agua es:

$$S = \pi R (2h + R)$$

Para un tiempo, dt, suficientemente pequeño para que pueda suponerse que la capacidad de infiltración, f, es constante se verificará la igualdad:

$$\pi R 2h + R f = -\pi R^2 dh/dt$$

Simplificando y separando variables: $f dt = -R \frac{dh}{2h + R}$

Integrando la ecuación anterior se tiene finalmente: $f = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$

4.2.4 RANGOS DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

A continuación se presenta en la **Tabla N° 4-3** los coeficientes de permeabilidad para distintos tipos de suelo no consolidados:

Tabla N° 4-3
Coeficientes de Permeabilidad para Distintos Tipos de Suelos No Consolidados

| | <i>K</i> | | <i>K</i> |
|---------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Grava | $10^{-1} - 10^{-2}$ | Arena Limosa | $10^{-5} - 10^{-7}$ |
| Arena Gruesa | 10^{-3} | Arcilla Limosa | $10^{-6} - 10^{-9}$ |
| Arena Mediana | $10^{-3} - 10^{-4}$ | Arcilla | $< 10^{-9}$ |
| Arena Fina | $10^{-4} - 10^{-5}$ | | |

Fuente: Publicación Técnica No. 195. Sanfandila, Qro, 2002.

4.2.5 GRADIENTE HIDRÁULICO

Viene a ser la dirección del flujo de agua subterránea debido a cambios en la profundidad del nivel piezométrico. Para los trabajos de campo se realizó la medición de los niveles de agua de las calicatas.

4.3 RESULTADOS DE PRUEBAS

4.3.1 PRUEBAS DE AGOTAMIENTO Y RECUPERACIÓN

En la **Tabla N° 4-4** y la **Tabla N°4-5** se presentan los resultados obtenidos de la prueba de agotamiento y recuperación, obteniéndose un coeficiente de permeabilidad promedio de 7×10^{-5} m/s. De los trabajos de campo se apreció un suelo limo arenoso.

Tabla N° 4-4
Prueba de Agotamiento y Recuperación – Calicata 01

| L (m) | B (m) | H (m) | a (m) | d (m) | N.F. (m) | t1/t2 Segundos | t2 - t1 Segundos | K m/s |
|------------|-----------------|-------------|------------|-----------------|-------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,07 | 1,08 | 0 | 0 | 1,15E-04 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,20 | 0,95 | 600 | 600 | 9,91E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,24 | 0,91 | 900 | 300 | 1,29E-04 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,28 | 0,87 | 1200 | 300 | 1,17E-04 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,31 | 0,84 | 1500 | 300 | 7,99E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,33 | 0,82 | 1831 | 331 | 3,29E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,34 | 0,81 | 2259 | 428 | 1,45E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,35 | 0,8 | 3287 | 1028 | 9,66E-06 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,36 | 0,79 | 4915 | 1628 | 8,61E-06 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,69 | 0,37 | 0,78 | 6843 | 1928 | |
| | | | | | | | Promedio | 6,73E-05 |
| k = | 6,73E-03 | cm/s | k = | 6,73E-05 | m/s | k = | 5,81E+00 | m/día |

Tabla N° 4-5
Prueba de Agotamiento y Recuperación – Calicata 07

| L (m) | B (m) | H (m) | a (m) | d (m) | N.F. (m) | t1/t2 Segundos | t2 - t1 Segundos | K m/s |
|------------|-----------------|-------------|------------|-----------------|-------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,24 | 1,110 | 0 | 0 | 1,79E-04 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,33 | 1,020 | 760 | 405 | 1,52E-04 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,35 | 1,000 | 930 | 122 | 7,36E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,37 | 0,980 | 1210 | 280 | 8,15E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,39 | 0,960 | 1490 | 280 | 8,13E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,41 | 0,940 | 1800 | 310 | 2,17E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,42 | 0,935 | 2100 | 300 | 6,96E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,43 | 0,920 | 2400 | 300 | 7,22E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,46 | 0,890 | 3060 | 660 | 3,11E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,47 | 0,880 | 3600 | 540 | 8,02E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,50 | 0,850 | 4310 | 710 | 4,56E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,51 | 0,840 | 4750 | 440 | 2,94E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,56 | 0,790 | 8520 | 4920 | 2,46E-05 |
| 1,10 | 1,10 | 1,35 | 0,62 | 0,57 | 0,780 | 10440 | 6130 | |
| | | | | | | | Promedio | 7,24E-05 |
| k = | 7,24E-03 | cm/s | k = | 7,24E-05 | m/s | k = | 6,26E+00 | m/día |

4.3.2 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

En la **Tabla N° 4-6** y la **Tabla N°4-7** se presentan los resultados obtenidos de la prueba de infiltración, obteniéndose un coeficiente de permeabilidad promedio de **3,54x10⁻⁵ m/s**. De los trabajos de campo se apreció un suelo limo arenoso.

Tabla N° 4-6
Prueba de Infiltración – Calicata 01

| L (m) | B (m) | H (m) | Radio Equiv. (m) | d (m) | N,F, (m) | t1/t2 Segundos | t2 - t1 Segundos | K m/s |
|------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------|-------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,735 | 0,92 | 0,230 | 0 | 0 | 9,00E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,732 | 0,80 | 0,350 | 405 | 405 | 1,33E-04 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,731 | 0,75 | 0,400 | 770 | 122 | 5,77E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,729 | 0,70 | 0,450 | 1065 | 295 | 4,65E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,728 | 0,66 | 0,490 | 1370 | 305 | 3,67E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,727 | 0,63 | 0,520 | 1670 | 300 | 3,78E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,726 | 0,60 | 0,550 | 1970 | 300 | 3,77E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,725 | 0,57 | 0,580 | 2280 | 310 | 1,44E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,724 | 0,55 | 0,600 | 2835 | 555 | 1,29E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,723 | 0,53 | 0,620 | 3470 | 635 | 1,84E-05 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,722 | 0,50 | 0,655 | 4275 | 805 | 2,77E-06 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,721 | 0,49 | 0,660 | 5055 | 780 | 5,01E-06 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,721 | 0,47 | 0,680 | 6025 | 1750 | 1,64E-06 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,720 | 0,46 | 0,690 | 6990 | 2715 | 1,20E-06 |
| 1,25 | 1,18 | 1,15 | 0,720 | 0,45 | 0,700 | 8820 | 3765 | |
| | | | | | | | Promedio | 3,54E-05 |
| k = | 3,54E-03 | cm/s | k = | 3,54E-05 | m/s | k = | 3,06E+00 | m/día |

Tabla N° 4-7
Prueba de Infiltración – Calicata 12

| L (m) | B (m) | H (m) | Radio Equiv. (m) | d (m) | N.F. (m) | t1/t2 Segundos | t2 - t1 Segundos | K m/s |
|------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------|-------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,574 | 0,70 | 0,440 | 0 | 0 | 2,97E-05 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,573 | 0,66 | 0,480 | 300 | 405 | 1,03E-04 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,572 | 0,62 | 0,520 | 600 | 122 | 2,16E-05 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,572 | 0,60 | 0,540 | 900 | 300 | 4,47E-05 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,571 | 0,56 | 0,580 | 1200 | 300 | 2,31E-05 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,570 | 0,54 | 0,600 | 1500 | 300 | 1,18E-05 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,570 | 0,53 | 0,610 | 1800 | 300 | 2,97E-06 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,569 | 0,53 | 0,615 | 2400 | 600 | 1,38E-05 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,569 | 0,50 | 0,640 | 3060 | 660 | 7,16E-06 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,568 | 0,49 | 0,655 | 3840 | 780 | 5,58E-06 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,568 | 0,47 | 0,670 | 4860 | 1020 | 2,01E-06 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,567 | 0,46 | 0,680 | 6780 | 1920 | 1,07E-06 |
| 0,95 | 0,95 | 1,14 | 0,567 | 0,45 | 0,690 | 8520 | 3660 | |
| | | | | | | | Promedio | 2,22E-05 |
| k = | 2,22E-03 | cm/s | k = | 2,22E-05 | m/s | k = | 1,92E+00 | m/día |

4.3.3 GRADIENTE HIDRÁULICO

Se determinó en base a los niveles registrados en campo, siendo el valor obtenido de **0,65%**.

5 GEOTÉCNIA

5.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

La investigación en campo es ejecutada con propósito de obtener parámetros geotécnicos de diseño las cuales incluyen la obtención de propiedades físicas, químicas y mecánicas así como del suelo y la roca encontrada en el lugar de la exploración, una parte de ellas es ejecutada en campo denominadas in situ, la otra parte es ejecutada en laboratorios especializados en mecánicas de suelos, por lo que es necesario que la muestra sea extraída, embolsada y trasladada cuidadosamente sin alterar sus condiciones naturales.

5.1.1 EXCAVACIÓN DE CALICATAS

La exploración geotécnica de campo ha consistido en la excavación de un total de 12 calicatas distribuidas convenientemente según los fines del estudio. En cada una de las calicatas se realizó el registro de excavación de acuerdo a la norma ASTM D-2488. Se tomaron muestras disturbadas de las excavaciones para la ejecución de los ensayos de laboratorio correspondiente, para lo cual cada muestra fue identificada convenientemente y embalada en bolsas de polietileno que fueron remitidas al laboratorio de mecánica de suelos.

En la **Tabla N° 5-1** se presenta la ubicación de los puntos de exploración y/o calicatas:

Tabla N° 5-1
Ubicación de las Calicatas

| CÓDIGO | COORDENADAS UTM - WGS84-18S | | COTA SUPERFICIAL | PROFUNDIDAD (m) | NIVEL FREÁTICO (m) |
|--------|-----------------------------|-----------|------------------|-----------------|--------------------|
| | Este | Norte | | | |
| C-01 | 819 546 | 8 514 652 | 3 728,58 | 1,15 | 0,75 |
| C-02 | 819 401 | 8 514 609 | 3 729,81 | 1,46 | 1,04 |
| C-03 | 819 277 | 8 514 578 | 3 730,53 | 1,15 | 0,93 |
| C-04 | 819 249 | 8 514 730 | 3 730,98 | 1,44 | 1,21 |
| C-05 | 819 219 | 8 514 843 | 3 731,17 | 1,69 | 1,50 |
| C-06 | 819 342 | 8 514 870 | 3 730,38 | 1,65 | 1,30 |
| C-07 | 819 481 | 8 514 875 | 3 729,66 | 1,35 | 0,74 |
| C-08 | 819 514 | 8 514 793 | 3 728,52 | 1,18 | 0,57 |
| C-09 | 819 544 | 8 514 728 | 3 728,50 | 1,31 | 0,84 |
| C-10 | 819 427 | 8 514 707 | 3 729,63 | 1,30 | 1,10 |
| C-11 | 819 366 | 8 514 770 | 3 729,98 | 1,45 | 1,15 |
| C-12 | 819 600 | 8 514 624 | 3 727,72 | 1,14 | 0,73 |

Fuente: E&E Perú S.A.

En el **Anexo A Registro Estratigráfico** se presenta los registros de campo y la descripción de las calicatas.

En todas las calicatas se ha encontrado la misma configuración del perfil de suelo, que inicia con una cobertura vegetal de baja potencia y luego continua el estrato de nuestro interés, el cual según la geología de la zona y los análisis de laboratorio correspondería a sedimentos lacustres de origen volcánico que contienen valvas de ostrácodos y conchas de gasterópodos, sílice biogénica y materia orgánica.

Estos depósitos naturales de suelos son denominados “Suelos Diatomáceos”, los cuales se caracterizan por tener propiedades físicas y mecánicas singulares, que no siguen las correlaciones obtenidas y aceptadas para la mayoría de los suelos. Por lo tanto, en el presente informe se tendrá mayor cuidado en el análisis de los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio, además de la determinación de los parámetros resistentes del suelo.

Finalmente, el material desde el punto de vista geotécnico se describe como material fino conformado por limos, presenta alto contenido de humedad, es de color blanco, y presenta nivel freático superficial variable. Además se considera que este material supera los 6 m de profundidad.

5.1.2 DENSIDAD DE CAMPO – MÉTODO DEL CONO DE ARENA

El objetivo del ensayo es determinar la densidad natural del suelo. Este método se realiza excavando un agujero dentro de la abertura de una placa base, el volumen del suelo a remover está en función al tamaño de las partículas del suelo. El material extraído será depositado en un recipiente hermético. El suelo extraído se pesa, luego el volumen del agujero se calcula mediante la diferencia del peso inicial y final de la arena estandarizada que queda en el frasco. Este ensayo se encuentra normado bajo la NTP 339.143 (ASTM D 1556).

En la **Tabla N° 5-2** se presenta los resultados obtenidos de las densidades de campo realizadas.

Tabla N° 5-2
Densidad de Campo- Método del Cono de Arena

| UBICACIÓN | PROF. [m] | CLASIFICACIÓN SUCS | DN [g/cm ³] | CH [%] | DS [g/cm ³] |
|-----------|--------------|-----------------------|----------------------------|-----------|----------------------------|
| C-01 | 1,15 | ML | 1,72 | 67,28 | 1,03 |
| C-04 | 1,44 | ML | 1,81 | 55,69 | 1,16 |
| C-11 | 1,45 | ML | 1,60 | 92,81 | 0,83 |

DN: Densidad Natural; CH: Contenido de Humedad; DS: Densidad Seca.

Fuente: E&E Perú S.A. – Trabajos de Campo.

En el **Anexo B.1** se adjuntan los resultados del Ensayo de Densidad de Campo – Método del Cono de Arena.

5.1.3 REGISTRO DE SONDAJE DPL (DYNAMIC PROBING LIGHT)

Se realizó cuatro (04) ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), con la finalidad de conseguir la profundidad de rechazo en terreno, el cual indicaría la llegada a un estrato más resistente o la presencia de gravas, que adicionalmente permite determinar la resistencia del suelo.

El ensayo DPL (DIN 4094), consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso, que cae libremente desde una altura de 50 cm. Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones para encontrar el valor N de resistencia a la penetración estándar en función del tipo de suelo por cada 10 cm de hincado.

En la **Tabla N° 5-3**, se resume la profundidad alcanzada en el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL):

Tabla N° 5-3
Registro del Sondaje DPL

| UBICACIÓN | CÓDIGO | PROFUNDIDAD ALCANZADA (m) | N min | | N max | | OBSERVACIÓN |
|-----------|--------|---------------------------------|-------|-----------------------------|-------|-----------------------------|--|
| | | | Ø | c' [kg/cm ²] | Ø | c' [kg/cm ²] | |
| C-01 | DPL-01 | 4,90 | 17 | 0,01 | 26 | 0,47 | Se estima que este estrato continúa a profundidades mayores a 6 m. |
| C-11 | DPL-02 | 5,80 | 15 | 0,00 | 29 | 0,80 | Se estima que este estrato continúa a profundidades mayores a 6 m. |
| C-04 | DPL-03 | 6,00 | 15 | 0,00 | 28 | 0,72 | Se estima que este estrato continúa a profundidades mayores a 6 m. |
| C-02 | DPL-04 | 4,90 | 17 | 0,01 | 30 | 0,84 | Se estima que este estrato continúa a profundidades mayores a 6 m. |

Fuente: E&E Perú S.A. – Trabajos de Campo.

En el **Anexo B.2** se adjuntan los Registro de Sondaje (DPL), en los cuales se presenta el registro del Ensayo DPL y su profundidad alcanzada, junto a la correlación con el valor N de ensayo SPT y sus parámetros de resistencia cortante de los suelos (c y Ø).

5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

5.2.1 ENSAYOS ESTÁNDAR

Los ensayos estándar buscan agrupar a los diferentes tipos de suelos en grupos de familias con características y propiedades comunes. Consisten en: análisis de granulometría por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico) y contenido de humedad.

Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas actuales, entre ellas la American Society For Testing and Materials (ASTM), la Norma técnica Peruana (NTP) y Otros. Las normas para estos ensayos son las siguientes:

Tabla N° 5-4
Normas para los ensayos estándar de clasificación de suelos

| ENSAYO | NORMA AASHTO | NORMA ASTM | NORMAS PERUANAS |
|--------------------------------------|--------------|------------|-----------------|
| Análisis granulométrico por tamizado | AASHTO T 88 | ASTMD422 | MTC E 107 |
| Límite Líquido | AASHTO T 89 | ASTMD4318 | MTC E 110 |
| Límite Plástico | AASHTO T 90 | ASTMD4318 | MTC E 111 |
| Contenido de Humedad | AASHTO T 265 | ASTMD2216 | NTP 339.127 |

Fuente: Recopilación de las normas AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) ASTM (American Society for Testing and Materials) y MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones - Perú).

En la **Tabla N° 5-5** se presenta el resumen de la caracterización física de los suelos.

Tabla N° 5-5
Caracterización física de los suelos

| UBICACIÓN | SONDEO/ MUESTRA | PROFUNDIDAD (m) | DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA | | | LÍMITES DE CONSISTENCIA | | C.H. [%] | CLASIFICACIÓN SUCS |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------------------|-------|-------|----------------------------|------|-------------|---------------------------|
| | | | GRAVA | ARENA | FINOS | L.L. | L.P. | | |
| | | | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] | | |
| C-01 | M-1 | 1,15 | 0,0 | 13,1 | 86,9 | NP | NP | 67,28 | ML |
| C-04 | M-1 | 1,44 | 0,0 | 17,6 | 82,4 | NP | NP | 55,69 | ML |
| C-11 | M-1 | 1,45 | 0,0 | 17,5 | 82,5 | NP | NP | 92,81 | ML |

GC: Grava arcillosa.

GP-GM: Grava mal graduada con limos.

GP: Grava mal graduada.

SC: Arena Arcillosa.

MH: Limo de Alta Plasticidad.

ML: Limo de Baja Plasticidad.

Fuente: E&E Perú S.A.

En el **Anexo C.1** se adjuntan los ensayos correspondientes a la caracterización física de los suelos.

5.2.2 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Este ensayo consiste en colocar el espécimen del ensayo en una caja de cizalladura directa, se fundamenta en aplicar un esfuerzo normal y luego un movimiento a velocidad constante en trayectoria horizontal, se mide la fuerza y desplazamiento a medida que es cizallada. Mediante la relación del desplazamiento horizontal con la relación de tensión de corte y normal pueden obtener los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna del espécimen estimado a través del criterio de falla de Mohr Coulomb.

De los ensayos de corte directo (ASTM D-3080), efectuados a las diferentes muestras de suelos, se obtuvieron los siguientes valores mostrados en la **Tabla N° 5-6**:

**Tabla N° 5-6
Ensayos de Corte Directo**

| UBICACIÓN | DENSIDAD NATURAL [gr/cm ³] | C.H. [%] | DENSIDAD SECA [gr/cm ³] | ÁNGULO DE FRICCIÓN [°] | COHESIÓN c' [kg/cm ²] | OBSERVACIONES |
|-----------|---|-------------|--|---------------------------|---|---|
| C-01 | 1,72 | 67,28 | 1,03 | 35,4 | 0,22 | V = 0,5 mm/min; con presión de poros aparente; densidad natural |
| C-04 | 1,81 | 55,69 | 1,16 | 36,1 | 0,17 | V = 0,2 mm/min; sin presión de poros aparente; densidad seca |
| C-11 | 1,60 | 92,81 | 0,83 | 35,2 | 0,02 | V = 0,3 mm/min; sin presión de poros aparente; densidad seca |

C.H. : contenido de humedad

Fuente: E&E Perú S.A.

En el **Anexo C.2** se adjuntan los resultados del Ensayo de Corte Directo.

5.2.3 ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

Con este ensayo se puede obtener la presión de pre consolidación, índice de compresibilidad, índice de expansión de manera controlada, mediante la relación de esfuerzo deformación-tiempo del espécimen sometido. Estos ensayos han sido trabajados bajo la Norma ASTM D-2435-90.

En la **Tabla N° 5-7** se presenta un resumen de los ensayos de Consolidación Unidimensional.

**Tabla N° 5-7
Resultados de Consolidación Unidimensional**

| SONDAJE | PROF. [m] | CLASIFICACIÓN SUCS | Δ_{ec} | ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD C _c | Δ_{es} | ÍNDICE DE EXPANSIBILIDAD C _s | PRESIÓN DE PRECONSOLIDACIÓN P _c [kg/cm ²] |
|---------|--------------|-----------------------|---------------|---|---------------|--|--|
| C-01 | 1,15 | ML | 0,187 | 0,161 | 0,040 | 0,025 | 1,16 |

Fuente: E&E Perú S.A.

En el **Anexo C.3** se adjuntan los resultados del Ensayo de Consolidación Unidimensional

5.2.4 ENSAYOS QUÍMICOS DE LOS SUELOS

Los ensayos químicos permiten determinar el grado de agresividad del suelo con la cimentación u otras estructuras que estarán en contacto con el suelo, para esto se ejecutaron ensayos químicos, para determinar la concentración de sulfatos y cloruros presentes en el suelo.

En la **Tabla N° 5-8** se presenta las normas empleadas con fines de determinación las sales.

Tabla N° 5-8
Ensayos químicos de sulfatos y cloruros

| ENSAYO | NORMA AASHTO | NORMAS PERUANAS |
|---|--------------|-----------------|
| Cloruros Solubles (Cl-) (ppm) | AASHTO T 291 | NTP 339.177 |
| Sulfatos Solubles (SO ₄ =) (ppm) | AASHTO T 290 | NTP 339.178 |

Fuente: E&E Perú S.A.

En la siguiente **Tabla N° 5-9** se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos químicos:

Tabla N° 5-9
Resultados del análisis químico de suelos

| CALICATA | PROFUNDIDAD [m] | CLORUROS [ppm] | SULFATOS [ppm] |
|----------|--------------------|-------------------|-------------------|
| C-01 | 1,15 | 16,33 | 152,38 |
| C-04 | 1,44 | 20,42 | 175,16 |
| C-11 | 1,45 | 21,44 | 177,23 |

Fuente: E&E Perú S.A.

En la **Tabla N° 5-10** se presentan los límites permisibles recomendados por el Comité ACI-201.2R.77. Los valores están dados en ppm de sulfatos y cloruros con respecto a la mezcla.

Tabla N° 5-10
Contenido de Sulfatos y su Grado de Agresividad al Concreto

| PRESENCIA EN EL SUELO DE: | [ppm] | GRADO DE ALTERACIÓN | CONSECUENCIA |
|------------------------------|----------------|------------------------|---|
| *Sulfatos [SO ₄] | 0 – 1 000 | Leve | Ocasiona Agresión Química al Concreto de la Cimentación |
| | 1 000 – 2 000 | Moderado | |
| | 2 000 – 20 000 | Severo | |
| | >20 000 | Muy Severo | |
| *Cloruros [CL-] | >300 | Perjudicial | Ocasiona Problemas De Corrosión De Armaduras O Elementos Metálicos |

Fuente: * Comité ACI – 201. 2R. 77

Los niveles de agresividad química del suelo de fundación son leves, dado que su valor de sulfatos y sales están por debajo de los 1 000 ppm, donde se va a proyectar el complejo, en consecuencia el suelo es recomendable para la construcción de dicho complejo.

6 PARÁMETROS DE RESISTENCIA

En este ítem se resumirá la metodología empleada para determinar los parámetros de resistencia, en función a sus características físicas, químicas, ensayos de campo y ensayos de laboratorio, que servirán para la determinación de la capacidad admisible y asentamiento de las estructuras del complejo.

6.1 ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA

El ángulo de fricción interna es uno de los parámetros de resistencia del suelo más utilizado para el cálculo de la resistencia del suelo, y puede ser obtenido de diferentes maneras, tanto como ensayos de campo y de laboratorio, para este estudio, se han utilizado 2 métodos.

MÉTODO INDIRECTO: Ensayo de Penetración Dinámica Ligera DPL

Se utilizará el valor de N, determinado con el ensayo de Penetración Dinámica Ligera DPL, luego se utilizará la correlación empírica propuesta por Ohsaki (1 959) que relaciona el valor N con el ángulo de fricción.

$$\phi = \sqrt{20 * N + 15}$$

Dónde:

ϕ = ángulo de fricción interna del suelo.

N = Número de golpes por cada 30 cm de penetración del ensayo de SPT.

Existen otras relaciones como la de Peck, Hanson y Thornburn (1 974) que proporcionan una correlación entre N corregido (N_{cor}) y ϕ .

$$\phi(^{\circ}) = 27.1 + 0.3N_{cor} - 0.00054N_{cor}^2$$

$$N_{cor} = C_N N_F$$

Dónde:

CN : Factor de corrección = $\left(\frac{1}{\sigma_v'}\right)^{0.5}$ (Liao y Whitman, 1986)

NF : Valor N obtenido en el campo

Recientemente, Hatanaka y Uchida (1 996) propusieron una simple correlación entre N_{cor} y ϕ , que se expresa como:

$$\phi(^{\circ}) = (20N_{cor})^{0.5} + 20$$

Para determinar la cohesión a partir del valor N obtenido de la correlación con el ensayo de penetración realizado, se puede deducir el valor de la resistencia a la compresión simple, que, mediante la relación propuesta por HUNT en 1 984 y las tablas propuestas por NAVFAC en 1 971, en condiciones sin drenaje se adopta el valor de la resistencia al corte igual a la mitad de la resistencia a la compresión simple sin confinamiento.

MÉTODO DIRECTO: Ensayo de Corte Directo

Se tendrá como referencia los resultados obtenidos de laboratorio del ensayo de corte directo, el cual será la referencia principal para establecer los parámetros de resistencia del terreno de fundación del complejo que se establezca en los ítems posteriores.

6.2 COHESIÓN

Para el presente proyecto en concordancia con la Norma E-050; para suelos cohesivos se empleará los resultados de laboratorio obtenidos.

6.3 ÁNGULO DE ARRANCAMIENTO

Existen muchos autores que presentan valores del ángulo de arrancamiento y su relación con el ángulo de fricción. En 1 980 Jiménez Salas considera para efectos de diseño los 2/3 del ángulo de fricción que es muy similar a los valores presentados por otros autores, el mismo que se presenta a continuación:

$$\lambda = 0.7 \phi$$

Como conclusión de los resultados favorables obtenidos de la experimentación, se opta por la relación citada.

6.4 COEFICIENTE DE FRICCIÓN

Es una propiedad de los materiales que están en contacto; de acuerdo a la literatura técnica disponible se presentan los siguientes valores del coeficiente de fricción entre el concreto de la cimentación y el terreno:

Tabla N° 6-1
Coefficiente de Fricción

| Tipo de Suelo | F _b |
|--------------------------------|----------------|
| Suelo Pantanoso | 0,1 |
| Suelo muy blando | 0,2 |
| Arena fina húmeda | 0,3 |
| Arcilla blanda | 0,4 |
| Arcilla media dura seca | 0,5 |
| Arcilla fina seca | 0,7 |
| Arcilla gruesa | 0,5 |
| Arena gruesa | 0,5 |
| Arcilla gruesa dura | 0,5 |
| Roca dura de superficie rugosa | 0,5 |

Fuente: Fuente: E&E Perú S.A.

6.5 PARÁMETROS ELÁSTICOS

De acuerdo a las características de las muestras investigadas y la compacidad del suelo vistas en campo se estimará el Módulo de Elasticidad y la relación de Poisson según la **Tabla N° 6-2**:

Tabla N° 6-2
Parámetros elásticos de diversos suelos

| Tipo de Suelo | Módulo de Elasticidad | | Relación de Poisson, u _s |
|-------------------|-----------------------|-------------------|--|
| | lb/pulg ² | MN/m ² | |
| Arena suelta | 1 500 – 3 500 | 10,35 – 24,15 | 0,20 – 0,40 |
| Arena densa media | 2 500 - 4 000 | 17,25 – 27,60 | 0,25 – 0,40 |
| Arena densa | 5 000 – 8 000 | 34,50 – 55,20 | 0,30 – 0,45 |
| Arena limosa | 1 500 – 2 500 | 10,35 – 17,25 | 0,20 – 0,40 |
| Arena y grava | 10 000 – 25 000 | 69,00 – 172,50 | 0,15 – 0,35 |
| Arcilla suave | 600 – 3 000 | 4,10 – 20,70 | |
| Arcilla media | 3 000 – 6 000 | 20,70 – 41,40 | 0,20 – 0,50 |
| Arcilla firme | 6 000 – 14 000 | 41,40 – 96,60 | |

Fuente: Principios de Ingeniería de Cimentaciones, 5ta Edición, Autor: Braja M. Das, pág. 223.

6.6 ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD

El Índice o Coeficiente de Compresibilidad o de Balasto, se debe tener siempre presente que el Coeficiente de Compresibilidad no es una propiedad o constante del suelo como material. No es como la cohesión, la densidad, el ángulo de fricción que define el comportamiento intrínseco del material. El Coeficiente de Compresibilidad simplemente es una relación matemática entre la presión y el desplazamiento que se produce en determinadas condiciones. Y para un mismo suelo, depende fundamentalmente de la superficie de carga.

Los índices de compresibilidad serán empleados para el cálculo de cimentaciones mediante la metodología Shulzberger, para lo cual se empleará los coeficientes de compresibilidad de la **Tabla N° 6-3** realizada en las paredes laterales de las excavaciones en terrenos de la misma naturaleza, aproximadamente a 2 m de profundidad bajo el nivel del suelo.

Tabla N° 6-3
Índice de Compresibilidad

| NATURALEZA DEL TERRENO | PESO ESPECÍFICO APARENTE [t/m ³] | CARGA ADMISIBLE [kg/cm ²] | COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD [kg/cm ³] |
|--|--|---------------------------------------|--|
| I. Rocas en buen estado Isótropas | | 30-60 | |
| Estratificadas(c/grietas) | | 10-20 | |
| II. Terrenos no Cohesivos | | | |
| a) Grava arenosa(mín.1/3) grava hasta70mm | 1,80-1,90 | 4-8 | |
| b) Arenoso grueso (con diámetro de partículas de 2mm a 0,2mm) | 1,60-1,80 | 2-4 | |
| c) Arenoso fino (partículas con 0,2 mm a 0,002 mm de diámetro) | 1,50-1,60 | 1,5-3 | 8-20 |
| III. Terrenos no Cohesivos Suelos | | | |
| a)Grava arenosa | 1,70-1,80 | 3-5 | |
| b)Arenoso grueso | 1,60-1,70 | 2-3 | 8-12 |
| c)Arenoso fino | 1,40-1,50 | 1-1,5 | 6 -8 |
| d) Arena fina húmeda / Terreno muy blandos | | < 0,8 | 1 -2 |
| IV. Terrenos Cohesivos(a) | | | |
| a) Arcilloso duro | 1,80 | 4 | 10 |
| b) Arcilloso semiduro | 1,80 | 2 | 6-8 |
| c) Arcilloso blando | 1,50-2,00 | 1 | 4-5 |
| d)Arcilloso fluído | 1,60-1,70 | | 2-3 |
| V. Turbosos pantanosos | 0,60-1,10 | < 0,5 | 0,5 - 1 |

Fuente: Experiencia Propia.

6.7 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SUELOS

Considerando la **Tabla N° 6-4**, donde se presenta la zonificación correspondiente a la línea de transmisión, el cual podrá utilizarse para el respectivo diseño dentro del área correspondiente, los parámetros de resistencia y propiedades únicamente para suelos pueden resumirse de la siguiente tabla:

Tabla N° 6-4
Definición de parámetros de diseño en suelos

| CONDICIÓN DEL TERRENO | CALICATAS COMPRENDIDAS | PROPIEDADES DEL MATERIAL | | PARÁMETROS DE RESISTENCIA | |
|-----------------------|------------------------|----------------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------------|
| | | γ [g/cm ³] | CH [%] | ϕ [°] | c' [kg/cm ²] |
| NATURAL | TODAS | 1,70 | 65 | 35 | 0,00 |

Fuente: E&E Perú S.A.

7 DISEÑO DE CIMENTACIONES

7.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

En el caso de cimentación en suelo los resultados buscados dependerán en gran medida a la metodología de cálculo adoptada para encontrar la capacidad admisible y los asentamientos, asimismo dependerán de las propiedades de los suelos, variabilidad de estratos, condiciones temporales de la zona, etc.

Para este proyecto se ha tomado en consideración las fórmulas presentadas por Terzaghi, Meyerhof Hansen, y Vesic, que se distinguen, además de por su afinidad con las fórmulas relativas a los mecanismos de rotura, por la complejidad geométrica de las situaciones tratadas.

En este caso en particular, para el cálculo de la capacidad portante y asentamientos permisibles se ha hecho uso del libro de Fundaciones de Ingeniería de Cimentaciones de Braja M. Das, Séptima edición (2011).

7.2 CONDICIONES DE ANÁLISIS

La capacidad portante es la máxima presión que puede transmitir la cimentación al subsuelo bajo dos consideraciones:

- El factor de seguridad de una falla por cortante que sea, **Fs = 3**.
- Los asentamientos producidos por la presión recomendada no sean mayores a los asentamientos admisibles por la estructura.

La metodología para calcular la capacidad portante, se inicia cumpliendo la primera consideración, es decir calculando la presión vertical, capacidad admisible (q_{adm}), de tal forma que se obtenga un factor de seguridad **Fs = 3**.

Una cimentación para comportarse satisfactoriamente, las cimentaciones superficiales deben tener dos características principales:

- La cimentación debe ser segura contra una falla por corte general del suelo que las soporta.
- La cimentación no debe experimentar un desplazamiento excesivo, es decir, un asentamiento excesivo. (El término excesivo es relativo, porque el grado de asentamiento permisible en una estructura depende de varias consideraciones.)

7.3 CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA EN SUELOS

Karl von Terzaghi (1943) propuso una fórmula sencilla para la carga máxima que podría soportar una cimentación continua con carga vertical centrada apoyada sobre la superficie de un suelo, otros

investigadores precedidos por Terzaghi fueron complementando para ciertas condiciones de cimentación estableciendo más tarde factores aplicadas a la ecuación de carga.

Las ecuaciones de capacidad de carga última son para cimentaciones continuas, cuadradas, rectangulares y circulares; no abordan el caso de cimentaciones rectangulares con la siguiente relación de ancho y longitud ($0 < B/L < 1$).

Además las ecuaciones no toman en cuenta la resistencia cortante a lo largo de la superficie de falla en la capa superior del plano de la cimentación, la carga inclinada, por eso para tomar en cuenta todos estos factores Meyerhof (1963) sugirió la forma siguiente de la ecuación.

$$q_u = c' \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i}$$

En esta ecuación:

| | |
|--------------------------------|--|
| c' | Cohesión |
| q | Esfuerzo efectivo a nivel del fondo de la cimentación |
| γ | Peso específico del suelo |
| B | Ancho de la cimentación (= diámetro para una cimentación circular) |
| $F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ | Factores de forma (*) |
| $F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ | Factores de profundidad (*) |
| $F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ | Factores de inclinación de carga (*) |

(*) Los factores de forma, profundidad e inclinación de carga son factores empíricos basados en datos experimentales.

7.3.1 FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

La naturaleza básica de la superficie de falla en un suelo sugerida por Terzaghi ahora parece haberse confirmado por estudios de laboratorio y campo de la capacidad de carga (Meyerhof, 1963), se puede demostrar que:

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) e^{\pi \tan \phi'}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1.4\phi')$$

7.3.2 FACTORES DE CORRECCIÓN POR FORMA, PROFUNDIDAD E INCLINACIÓN

| Factor de corrección | Relación | Referencia |
|---------------------------|---|--|
| Por forma | $F_{cs} = 1 + 0.2 \left(\frac{B}{L} \right) \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$ | Meyerhof (1963) |
| Cuando $\phi' > 10^\circ$ | $F_{qs} = F_{\gamma s} = 1 + 0.1 \left(\frac{B}{L} \right) \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$ | |
| Por profundidad | $F_{cs} = 1 + 0.2 \left(\frac{B}{L} \right) \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$ | Meyerhof (1963) |
| Cuando $\phi' > 10^\circ$ | $F_{qs} = F_{\gamma s} = 1 + 0.1 \left(\frac{B}{L} \right) \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$ | |
| Por inclinación | $F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta}{90^\circ} \right)^2$ | Meyerhof (1963); Hanna y Meyerhof (1981) |
| | $F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'} \right)^2$ | |
| | β Es la inclinación de la carga con respecto a la vertical. | |

7.3.3 MODIFICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE POR EFECTOS DEL NIVEL FREÁTICO

La ecuación general de la carga última presentada anteriormente es basada en la suposición de nivel freático esta por muy debajo la base de la cimentación, esta profundidad es considerada como al menos dos veces la base, sin embargo, no necesariamente puede darse el caso mencionado, algunas modificaciones a la ecuación son necesarios para los otros casos tal como se muestra la siguiente figura:

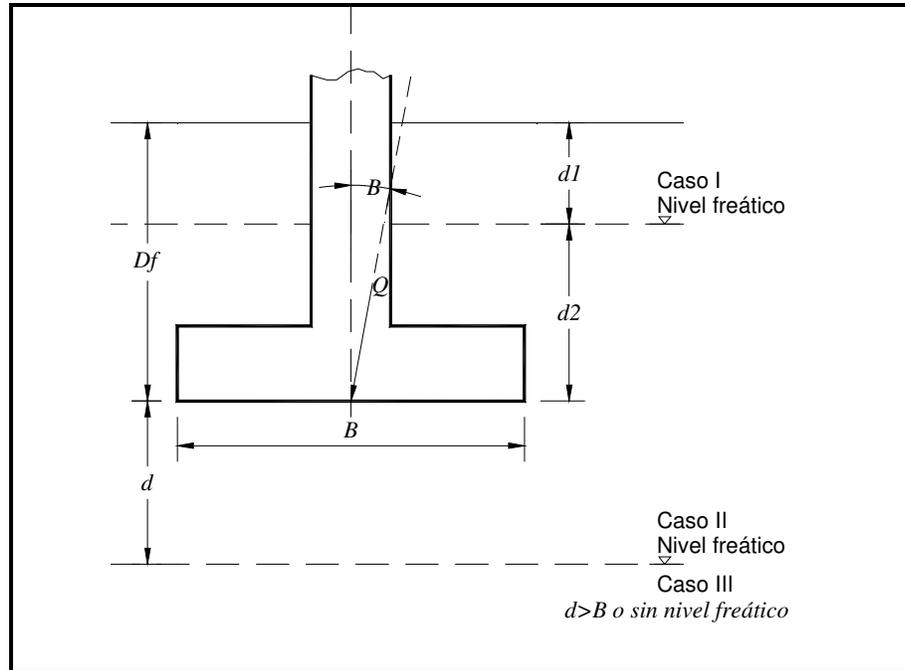


Figura N° 7-1.- Modificación de Capacidad Portante por Presencia de Nivel Freático

Caso I

Si el nivel freático es localizado tal que $0 \leq d_1 \leq D_f$, la variable q en la capacidad de carga toma la forma:

$$q(\text{Carga efectiva}) = d_1 \gamma + d_2 (\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

Dónde:

γ_{sat} = Peso unitario saturado del suelo

γ_w = Peso unitario del agua

Asimismo, el valor de γ en el último término de la ecuación es remplazado por $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

Caso II

Para el nivel freático localizado en $0 \leq d \leq B$

$$q = \gamma D_f$$

En caso que, el factor γ en el último término de la ecuación de capacidad de carga debe ser remplazado por la ecuación:

$$\bar{\gamma} = \gamma' + \frac{d}{B}(\gamma - \gamma')$$

Los precedentes modificaciones son basadas en la suposición que no hay fuerza de filtración en el suelo.

Caso III

Cuando el nivel freático es localizado tal que $d \geq B$, el nivel freático no tiene efecto en la ecuación de capacidad última de carga.

7.4 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

La interacción de los suelos del elemento cimiento debido a las cargas que se le impone al suelo provoca el asentamiento del mismo.

Las presiones anteriores pueden generar asentamientos mayores a los admisibles, por lo tanto se verificará los asentamientos previstos. Las características del asentamiento pueden deducirse de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas, según las consideraciones de Meyerhof.

En suelos granulares, de material grueso los asentamientos son básicamente instantáneas del tipo inmediato que vienen a ser los asentamientos totales que sufrirá la cimentación. Los asentamientos dependerán de los valores del módulo de elasticidad. Según la teoría elástica (Harr, 1966) podemos utilizar la siguiente expresión:

$$S_i = q(\alpha B') \left(\frac{1 - \mu_s^2}{E_s} \right)$$

Dónde:

S_i = Asentamiento inmediato

μ = Índice de Poisson

E_s = Elasticidad (Módulo de Young)

q = Presión neta aplicada al suelo

B = Ancho de la cimentación, (considerar $B' = B/2$ cuando el asentamiento es dado en el centro y $B' = B$ cuando el asentamiento es dado para una esquina)

Cálculo de factores

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \left[\ln \left(\frac{\sqrt{1+m_1^2} + m_1}{\sqrt{1+m_1^2} - m_1} \right) + m_1 \ln \left(\frac{\sqrt{1+m_1^2} + 1}{\sqrt{1+m_1^2} - 1} \right) \right]$$

$$m_1 = \frac{L}{B}$$

El asentamiento diferencial tolerable será del orden de una pulgada, el asentamiento en una cimentación rígida puede ser estimado como $Se(\text{rígido}) \approx 0.93Se(\text{flexible, centro})$.

Debido a la no homogeneidad de la naturaleza del suelo, el valor del módulo de Young es variable con la profundidad, por esta razón Bowles (1 987), recomienda usar un peso promedio de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_s = \frac{\sum E_s \Delta z}{\bar{z}}$$

Dónde:

E_s = Módulo de elasticidad del suelo dentro de la profundidad Δz

\bar{z} = H o 5B, cualquiera que sea el menor.

7.5 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE Y ASENTAMIENTO EN SUELOS

Considerando la **Tabla N° 6-4** que resume los parámetros de diseño del terreno en suelos, se ha obtenido la **Tabla N° 7-1** donde se presenta los cálculos de la capacidad admisible del terreno y los asentamientos correspondientes.

Tabla N° 7-1
Capacidad admisible y asentamientos en el terreno

| Df [m] | qadm [kg/cm ²] | | | | Asentamiento Si [cm] | | | |
|--------|----------------------------|------------|------------|------------|----------------------|------------|------------|------------|
| | B[1.5 x 1.5] | B[2 x 2] | B[3 x 3] | B[4 x 3] | B[1.5 x 1.5] | B[2 x 2] | B[3 x 3] | B[4 x 3] |
| 1,25 | 0,77 | 0,80 | 0,89 | 1,04 | 1,189 | 1,651 | 2,726 | 3,673 |
| 1,50 | 0,88 | 0,91 | 0,98 | 1,14 | 1,355 | 1,858 | 3,017 | 4,017 |
| 1,75 | 0,99 | 1,01 | 1,08 | 1,24 | 1,527 | 2,072 | 3,315 | 4,367 |
| 2,00 | 1,11 | 1,12 | 1,18 | 1,34 | 1,705 | 2,293 | 3,619 | 4,723 |
| 2,50 | 1,35 | 1,34 | 1,38 | 1,54 | 2,081 | 2,752 | 4,245 | 5,451 |
| 3,00 | 1,61 | 1,58 | 1,59 | 1,76 | 2,481 | 3,236 | 4,897 | 6,202 |
| 4,00 | 2,18 | 2,09 | 2,04 | 2,20 | 3,357 | 4,279 | 6,275 | 7,773 |

Fuente: E&E Perú S.A.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

[01]. El presente estudio se ha elaborado en base a la norma técnica E.050 de suelos y cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

[02]. Se ha evidenciado por medio de fotografías aéreas que en los alrededores de la laguna Piuray se presentan depósitos palustres y lacustres subactuales que evidencia el retroceso de la laguna. Los depósitos lacustres subactuales están compuestos por arcillas intercaladas con diatomitas y niveles de turba. En el sector de Piuray y Huilahuila, tenemos suelos formados por diatomitas, siendo este tipo de suelo el área donde se encuentra el proyecto.

[03]. Durante el reconocimiento geológico del área de estudio y alrededores no se han apreciado riesgo geológico por procesos de geodinámica externa que pudiera afectar la vulnerabilidad de las estructuras proyectadas.

[04]. Considerando el tipo de terreno, ubicación del lugar se ha asignado los siguientes parámetros sísmicos:

Zonificación del terreno : Limos de baja plasticidad

- Tipo de Suelos : S4 (Suelos excepcionales)

- Factor de Zona : Z = 0,30

- Clasificación de Suelo : S4 = 1,40

- Periodo Predominante : $T_p = 0,90$

[05]. Para el cálculo de capacidad portante en suelos se ha asumido que la falla es localizada por punzonamiento, por lo que los parámetros de resistencia al corte han sido reducidas.

[06]. Para el tipo de terreno, se ha asumido parámetros de diseño en base a los resultados geotécnicos, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

| CONDICIÓN DEL TERRENO | CALICATAS COMPRENDIDAS | PROPIEDADES DEL MATERIAL | | PARÁMETROS DE RESISTENCIA | |
|-----------------------|------------------------|----------------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------------|
| | | γ [g/cm ³] | CH [%] | ϕ [°] | c' [kg/cm ²] |
| NATURAL | TODAS | 1,70 | 65 | 35 | 0,00 |

Fuente: E&E Perú S.A.

[07]. Para los parámetros definidos se han calculado la capacidad admisible y el asentamiento de acuerdo a la metodología planteada en el capítulo 7.

Capacidad admisible y asentamientos en el terreno

| Df [m] | qadm [kg/cm ²] | | | | Asentamiento Si [cm] | | | |
|--------|----------------------------|------------|------------|------------|----------------------|------------|------------|------------|
| | B[1.5 x 1.5] | B[2 x 2] | B[3 x 3] | B[4 x 3] | B[1.5 x 1.5] | B[2 x 2] | B[3 x 3] | B[4 x 3] |
| 1,25 | 0,77 | 0,80 | 0,89 | 1,04 | 1,189 | 1,651 | 2,726 | 3,673 |
| 1,50 | 0,88 | 0,91 | 0,98 | 1,14 | 1,355 | 1,858 | 3,017 | 4,017 |
| 1,75 | 0,99 | 1,01 | 1,08 | 1,24 | 1,527 | 2,072 | 3,315 | 4,367 |
| 2,00 | 1,11 | 1,12 | 1,18 | 1,34 | 1,705 | 2,293 | 3,619 | 4,723 |
| 2,50 | 1,35 | 1,34 | 1,38 | 1,54 | 2,081 | 2,752 | 4,245 | 5,451 |
| 3,00 | 1,61 | 1,58 | 1,59 | 1,76 | 2,481 | 3,236 | 4,897 | 6,202 |
| 4,00 | 2,18 | 2,09 | 2,04 | 2,20 | 3,357 | 4,279 | 6,275 | 7,773 |

Fuente: E&E Perú S.A.

[08]. La cantidad permisible del contenido de cloruro y sulfato en el terreno se encuentra dentro de los límites permisibles.

[09]. De los parámetros geomorfológicos obtenidos, la variabilidad del nivel de la Laguna Piuray se encuentra afecta principalmente a la Microcuenca del Río Cusihuaygo que por su mayor extensión superficial y el alto grado de respuesta a las crecidas en épocas de avenidas.

[10]. La pendiente media que presenta el cauce principal de la Microcuenca de la Quebrada S/N 1 es de 1,30% (bajo) el cual adicional a cierta permeabilidad de los estratos (de acuerdo a la inspección de campo) determinaría un aporte al acuífero libre por infiltración, estimándose la generación de un flujo subsuperficial el cual presenta una gradiente hidráulica de 0,65% (evaluado en campo) con dirección al área de la Laguna Piuray en el área donde se proyectará las estructuras del Complejo Deportivo.

[11]. Las zonas de vida que conforma la subcuenca de la Laguna Piuray son: Bosque Húmedo Montano Subtropical y Páramo muy Húmedo Subalpino Subtropical los cuales ocupan 56% y 44% del área total de la subcuenca respectivamente.

[12]. Del proceso estadístico haciendo uso del software Extrem, se determinó que las distribuciones que se ajustan mejor son la Distribución Normal y Distribución Gamma correspondientes a las precipitaciones máximas en 24h y precipitaciones mensuales totales respectivamente.

8.2 RECOMENDACIONES

- [13]. Debido a la naturaleza del suelo y la poca referencia que existe del mismo se recomienda ampliar los análisis en este suelo, desarrollando perforaciones de mayor profundidad, y mayor cantidad de ensayos de corte a diferentes profundidades. Así mismo se recomienda llevar a un monitoreo de su comportamiento durante la construcción y posterior operación.
- [14]. Debido a que en el mercado nacional el manejo de diatomitas se basa en la exportación de la materia prima en bruto y la importación de dicha materia prima ya procesada para su uso en la industria nacional (principalmente). Se recomienda caracterizar el depósito para determinar el uso adecuado que se le puede determinar. Incluso se podría industrializar la diatomita para que pueda competir en el mercado nacional con la diatomita importada.
- [15]. Se recomienda emplear Cemento Pórtland Tipo I para todas las estructuras de concreto correspondiente al complejo.
- [16]. La profundidad de desplante deberá encontrarse a no menos de 1,50 m de profundidad, computados a partir del nivel de explanación.
- [17]. El nivel freático deberá ser controlado por un sistema de drenaje en toda la zona del proyecto, como mínimo hasta la profundidad de 1 m. Además, se recomienda hacer uso de aditivos impermeabilizantes o pintura bituminosa para las estructuras de cimentación.
- [18]. Dadas las características del suelo, se recomienda utilizar refuerzos para mejorar la resistencia y capacidad de deformación del suelo, el refuerzo debe considerar materiales de préstamo con características similares a un afirmado y si es necesario el uso de geosintéticos. Además se deberá modelar el comportamiento de la estructura de este suelo con algún programa computacional para predecir los asentamientos y la respuesta del suelo a la cimentación.
- [19]. Dada las características del material y la precipitación estacional es conveniente que el proyecto tenga un sistema de drenaje pluvial a nivel de la superficie del terreno con una ligera inclinación del 0,5%, con el objeto de evitar el ingreso de las aguas pluviales al interior de los rellenos.
- [20]. Se recomienda en el proceso constructivo, tomar las precauciones necesarias para proteger las paredes de las excavaciones de los dos primeros metros y cimentaciones en general, mediante sistemas de bombeo, entibaciones y/o calzaduras con la finalidad de proteger a los trabajadores y evitar daños a terceros conforme lo indica la Norma E.050.
- [21]. Los resultados obtenidos en el presente estudio así como las conclusiones y recomendaciones establecidas solo son válidos para el área de influencia en cada calicata investigada y no garantiza a otros proyectos que lo toman como referencia.

BIBLIOGRAFIA

- Bowles, J.E. 1987. Elastic foundation settlement on sand deposits. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 113(8): 846-860.
- Carlotto, V., Gil, W., Cárdenas, J., & Chávez, R. (1996). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas 27-r y 27-s. *Inst. Geol. Min. Metal. Bol. Ser. A: Carta Geol. Nac.*, 65, 245 p.
- Carlotto, V., (1998), *Evolution Andine et Raccourcissement au niveau de Cusco (13-16S), Pérou. Enregistrement sédimentaire, chronologie, contrôles paléogeographiques, évolution cinématique.* [PhD thesis]: Grenoble, Université Joseph Fourier.
- Carlotto, V. (2002). Évolution Andine et Raccourcissement au Niveau de Cusco (13-16°S), Pérou. *Geologie Alpine, Memoire H.S. Nro. 39*, Grenoble-Francia, 203 p.
- Córdova, E. (1986). *Un bassin intramontagneux andin péruvien. Les Couches Rouges du bassin de Cuzco (Maastrichtien-Paléocène).* Tesis 3° Ciclo Univ. Pau, 272 p.
- Cabrera J. (1988). *Néotectonique et sismotectonique dans la Cordillere Andine au niveau du changement de géométrie de la subduction: La Région de Cuzco (Pérou).* Thesis, pp. 268., Univ. Paris-Sud, Orsay, 1988.
- Gregory, H.E. (1916). Geological reconnaissance of the Cuzco Valley, Peru. *Am. J. Science*, 4th Serie, XII, N° 241, 1-121.
- Hanna A. M. and Meyerhof G.G. (1981) Experimental evaluation of bearing capacity of footings subjected to inclined loads. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 18 N° 4, p: 599-603.
- Harr M. E. (1966) *Foundations of theoretical soil mechanics.* McGraw-Hill. New York. 381p.
- Hatanaka, M & Uchida, A (1996) Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils. *Soils and Foundations*, vol. 36, no. 4, pp. 1-9.
- Jiménez Salas, J. A. et al., 1980. *Geotecnia y Cimientos III. Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la Geotecnia.* (2 volúmenes).
- Terzaghi, K. (1943) *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York. 510p.
- Meyerhof, G.G. (1963) Some recent research on the bearing capacity of foundations. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 1, pp. 16-31.

Ohsaki Y. (1966) Niigata earthquakes, 1964, building damage and soil conditions. *Soil and Foundations*. VI, N°2, p: 14-37.

Peck, R.B., Hanson, W.E. and Thornburn, T.H., 1974. *Foundation Engineering*. 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc. 544p.

9 ANEXOS

ANEXO A PERFILES ESTRATIGRÁFICO

ANEXO B ENSAYOS DE CAMPO

ANEXO C ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO D PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO E PLANOS

ANEXO A: PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

ANEXO B: ENSAYOS DE CAMPO

ANEXO C: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO D: PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO E: PLANOS