



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO HIDROLÓGICO, TOPOGRÁFICO Y
GEOTECNIA PARA EL DISEÑO DE LA REPRESA DE**

AUTISHA_LIMA

PRESENTADA POR

HANZ SMITH SAMUEL PEREZ SEDANO

RAFAEL DAVID HUARINGA SAAVEDRA

ASESOR

FANO MIRANDA GONZALO RAMCES

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2018



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada
CC BY-NC-ND**

Los autores permiten que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO HIDROLÓGICO, TOPOGRÁFICO Y GEOTECNIA
PARA EL DISEÑO DE LA REPRESA DE AUTISHA_LIMA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PRESENTADO POR

**PEREZ SEDANO, HANZ SMITH SAMUEL
HUARINGA SAAVEDRA, RAFAEL DAVID**

LIMA – PERÚ

2018

Dedico la presente tesis a Dios a mi abuelita Dominga que está en el cielo; donde me observa y orienta.

A mi mamá Carmen y mi papá Samuel, que me apoyan incondicionalmente; sin su ayuda de ellos no hubiese acabado mis estudios, los amo.

A mi hermana Milena por ser su ejemplo de seguir.

A todos quienes confiaron y apostaron por mí.

Hanz Smith Samuel Perez Sedano

Dedico esta tesis a Dios por siempre guiarme, a mi padre Ángel que siempre confió en mí y es mi ejemplo a seguir, a mi madre Bersabé que siempre me aconsejaba, a mis hermanos que siempre me alientan a seguir adelante, a mi amigo Daniel Acosta que desde el cielo nos acompaña, a Mayra que siempre ha estado a mi lado y en especial a mi hijo Ítalo y a quien está en camino, mi hija Ariana Guadalupe.

Rafael David Huarínga Saavedra

Agradecemos a la Universidad de “San Martín de Porres”, al Ingeniero Gonzalo Ramces Fano Miranda por ser nuestro guía de nuestra tesis y a nuestro gran amigo el Ingeniero Enoch Maguiña Rodríguez que siempre nos orientó en esta investigación.

ÍNDICE

| | Página |
|---|--------|
| RESUMEN | xiii |
| ABSTRACT | xiv |
| INTRODUCCIÓN | xv |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | |
| 1.1 Problemas | 1 |
| 1.2 Objetivos | 1 |
| 1.3 Justificación | 2 |
| 1.4 Limitaciones | 3 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | |
| 2.1 Embalse proyectado “vaso Autisha” | 5 |
| 2.2 Importancia de la modelación hidrológica | 6 |
| 2.3 Modelo WEAP | 9 |
| 2.4 Determinación del volumen de almacenamiento | 16 |
| 2.5 Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo | 19 |
| 2.6 Densidad relativa | 21 |
| 2.7 Análisis granulométrico | 23 |
| 2.8 Límites de consistencia | 24 |
| 2.9 Sistema unificado de clasificación de suelos, s.u.c.s | 26 |
| 2.10 Presión vertical efectiva | 27 |
| 2.11 Permeabilidad | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 2.12 Identificación de la carga de preconsolidación | 31 |
| 2.13 Resistencia al esfuerzo cortante | 34 |
| CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS | 39 |
| 3.1 Descripción de la cuenca Rímac | 39 |
| 3.2 Características climáticas de la cuenca Rímac | 42 |
| 3.3 Análisis y tratamiento de la información pluviométrica | 45 |
| 3.4 Recopilación de datos hidrométricos | 53 |
| 3.5 Construcción del modelo en WEAP | 55 |
| 3.6 Calibración y validación del modelo | 59 |
| 3.7 Simulación de operación del embalse | 62 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 64 |
| 4.1 Caudales generados en el punto de interés | 64 |
| 4.2 Determinación topográfica de volumen | 66 |
| 4.3 Determinación del volumen de almacenamiento | 69 |
| 4.4 Estudios geotécnicos de la presa de Autisha | 72 |
| 4.5 Geología del área en estudio | 72 |
| 4.6 Investigación de campo | 77 |
| CONCLUSIONES | 82 |
| RECOMENDACIONES | 83 |
| FUENTES DE INFORMACIÓN | 84 |
| ANEXOS | 85 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|---|--------|
| Tabla N°1: Consistencia de los suelos fino | 25 |
| Tabla N°2: Criterio para la identificación de suelos | 26 |
| Tabla N°3: Características fisiográficas de la cuenca Rímac | 40 |
| Tabla N°4: Características fisiográficas de las Subcuencas | 42 |
| Tabla N°5: Características de la cuenca vertiente al vaso Autisha | 42 |
| Tabla N°6: Variación de la temperatura media mensual | 43 |
| Tabla N°7: Variación de la humedad relativa (%) | 44 |
| Tabla N°8: Velocidad del viento | 44 |
| Tabla N°9: Evapotranspiración potencial a nivel mensual | 45 |
| Tabla N°10: Estaciones pluviométricas cuenca Rímac | 46 |
| Tabla N°11: Estaciones pluviométricas cuenca del río Chillón | 47 |
| Tabla N°12: Estaciones pluviométricas cuenca del río Mantaro | 47 |
| Tabla N°13: Estación hidrométrica Autisha | 53 |
| Tabla N°14: Serie de caudales aforados, estación Autisha | 54 |
| Tabla N°15: Tipo de cobertura | 57 |
| Tabla N°16: Indicadores de la eficiencia del modelo | 60 |
| Tabla N°17: Indicadores de eficiencia, periodo de calibración | 61 |
| Tabla N°18: Indicadores de eficiencia, periodo de validación | 62 |
| Tabla N°19: Caudales promedios mensuales Autisha | 65 |
| Tabla N° 20: Determinación topográfica del volumen | 67 |

| | |
|--|----|
| Tabla N°21: Capacidad hidrológica para diferentes caudales | 71 |
| Tabla N°22: Análisis granulométrico por tamizado | 79 |
| Tabla N°23: Límites de consistencia para clasificación de suelos | 80 |
| Tabla N°24: Resultados de prueba de proctor estándar | 81 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura N°1: Esquema del balance modelo “Soil Moisture Method” | 10 |
| Figura N°2: Modelación de embalses en WEAP | 15 |
| Figura N°3: Estimación de la capacidad de almacenamiento | 16 |
| Figura N°4: Diagrama de picos secuenciales | 18 |
| Figura N°5: Densidad relativa en suelos granulares (Lenz, 2010) | 22 |
| Figura N°6: Límites de Atterberg | 24 |
| Figura N°7: Diagramas de presiones verticales en la masa desuelo | 28 |
| Figura N°8: Flujo del agua a través de una masa de suelo | 29 |
| Figura N°9: Identificación de la carga de preconsolidación | 32 |
| Figura N°10: Curvas de compresibilidad de laboratorio y campo | 33 |
| Figura N°11: Ensayo de corte directo en arena | 36 |
| Figura N°12: Comportamiento del esfuerzo | 36 |
| Figura N°13: Envolvente de falla en ensayo triaxial uu | 37 |
| Figura N°14: Subcuencas Santa Eulalia punto de represamiento | 41 |
| Figura N°15: Ubicación de estaciones pluviométricas | 47 |
| Figura N°16: Doble masa grupo1, estaciones pluviométricas | 49 |
| Figura N°17: Doble masa grupo2, estaciones pluviométricas | 49 |
| Figura N°18: Caudal promedio mensual, estación Autisha | 55 |
| Figura N°19: Esquema del modelo WEAP cuenca Santa Eulalia | 56 |
| Figura N°20: Mapa de coberturas | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura N°21: Periodo de calibración (1965-1994) | 60 |
| Figura N°22: Periodo de validación (1995-2009) | 61 |
| Figura N°23: Comparación observados vs simulados | 61 |
| Figura N°24: Comparación caudales simulados vs observados | 62 |
| Figura N°25: Demandas analizadas para la capacidad hidrológica | 63 |
| Figura N°26: Demanda aplicada con ceros abajo | 63 |
| Figura N°27: Serie de caudales generados en el punto de interés | 64 |
| Figura N°28: Régimen anual de escorrentía en el punto de interés | 66 |
| Figura N° 29: Curva topográfica altura-elevación reservorio Autisha | 68 |
| Figura N° 30: Curva topográfica volumen -elevación reservorio Autisha | 68 |
| Figura N° 31: Volumen acumulado en Autisha para demanda de 6m ³ /s | 69 |
| Figura N° 32: Volumen acumulado en Autisha para demanda de 7m ³ /s | 70 |
| Figura N° 33: Volumen acumulado en Autisha para demanda de 8m ³ /s | 70 |
| Figura N° 34: Volumen acumulado en Autisha para demanda de 9m ³ /s | 71 |
| Figura N°35: Mapa de geológico de las zonas de estudio | 73 |
| Figura N°36: Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas | 75 |
| Figura N°37: Zonificación sísmica del Perú | 76 |
| Figura N°38: Curva granulométrica | 80 |
| Figura N°39: Curva de densidad humedad proctor estándar | 81 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | Página |
|---|--------|
| Fotografía N°1: Autisha, tomada desde el nivel del río | 98 |
| Fotografía N°2: Autisha, tomada desde la parte superior | 98 |
| Fotografía N°3: Autisha, inicio de calicata | 99 |
| Fotografía N°4: Autisha, excavación de calicata | 99 |
| Fotografía N°5: Autisha, excavación de calicata | 100 |
| Fotografía N°6: Autisha, muestra de calicata | 100 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Página |
|---|--------|
| Anexo 1: | |
| Polígono de Thiessen con las estaciones de precipitaciones. | 93 |
| Anexo 2: | |
| Datos de las precipitaciones cuenca Rímac | 94 |
| Anexo 3: | |
| Datos de precipitaciones de Matucana | 94 |
| Datos de precipitaciones de Milloc | 95 |
| Datos de precipitaciones de Canchacaya | 95 |
| Datos de precipitaciones de Autisha | 96 |
| Datos de precipitaciones de Lachaqui | 96 |
| Datos de precipitaciones de Carampoma | 97 |
| Datos de precipitaciones de Casapalca | 97 |

RESUMEN

La presente tesis analiza y desarrolla el diseño hidráulico de la represa Autisha_Lima ubicada en el río Santa Eulalia, distrito de Santa Eulalia, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. La zona donde está ubicada la represa tiene napa freática muy alta que constituye un problema por el alto consumo del recurso hídrico y falta de un eficiente uso de este.

Por ello, es necesario el análisis del problema de la zona, a fin de realizar el diseño hidráulico adecuado para la represa.

El estudio hidrológico, topográfico y geotecnia permitirá determinar la acumulación de agua del diseño de la Represa de Autisha y así la demanda necesaria para la Junta de Usuarios de la Cuenca Rímac.

Palabras clave: diseño hidráulico, represa, cuenca Rímac.

ABSTRACT

This thesis analyzes and develops the hydraulic design of repression. Autisha_Lima, located on the Santa Eulalia River district of Santa Eulalia, province of Huarochirí, Department of Lima. The area where the dam is located has a very high frequency that contributes to a problem due to the high consumption of water resources and lack of efficient use of it.

Therefore, it is necessary to analyze the problem of the area, in order to carry out the hydraulic design of a dam.

The hydrological, topographic and geotechnical study will allow to determine the accumulation of water of the Design of the Autisha Dam and thus the necessary demand for the Users Board of the Rímac Basin.

Keyword: hydraulic design, dam, Rímac Basin

INTRODUCCIÓN

La presente tesis busca determinar la capacidad de almacenamiento del vaso Autisha usando la metodología de picos secuentes, logrando de esta manera contribuir con la Junta de Usuarios de la Cuenca del río Rímac para resolver interrogantes de diseño, oferta hídrica y capacidad del almacenamiento del embalse.

A fin de reducir la brecha existente entre oferta y demanda hídrica se proyectan y construyen obras de afianzamiento hídrico para mejorar la distribución de recursos durante el año.

En el capítulo I mencionamos la situación problemática de la escasez de agua que se agudiza más en época de estiaje a su vez observamos que nuestra ciudad de Lima crece demográficamente el cual necesitaremos una mayor oferta por que crece la demanda, entonces nuestro objetivo fue determinar una capacidad de almacenamiento para poder abastecerla, en el capítulo II hicimos los modelamientos de las Subcuencas de Santa Eulalia como calibración y validación esto es una simulación de captación de agua para poder saber la capacidad de almacenamiento que podemos captar, en el tercer capítulo hicimos los cuadros comparativos entre el modelamiento y los datos obtenidos del Senamhi y Autoridad Nacional del Agua.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problema

1.1.1 Situación problemática

Hoy en día vivimos una escasez de agua que se agudiza aún más en época de estiaje afectando a los mas vulnerables como niños y personas de la tercera edad.

1.1.2 Definición del problema

La oferta de agua no abastece a la demanda generada por la población de Lima.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

Determinar la capacidad de almacenamiento a través del método de los picos Secuanciales del vaso Autisha.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la Topografía del Vaso para determinar la curva, altura y volumen de la zona de represamiento.

- Evaluar la oferta de agua disponible en el lugar de interés, sección represa Autisha, a través de un diseño hidrológico precipitación-escorrentía.
- Representar la acción del embalse y su regla de operación.
- Evaluar las cualidades físicas y mecánica del terreno de fundación de la zona de represamiento para determinar su resistencia.
- Determinar el nivel asigando en la demanda hídrica impuesta al embalse.

1.3 Justificación

El acopio de agua superficial anual que se producen en las 3 vertientes del territorio peruano corresponde a 780,000 millones de m³. El 90% corresponden a aguas que se dirigen concisamente al Atlántico mediante el río Amazonas, y únicamente se aprovecha un fragmento del 10%, esto a raíz del método estacional de las corrientes de agua que hay.

La vertiente del Pacífico se encarga de drenar el agua que empieza en la Cordillera de los Andes lado occidental (sierra occidental y costa), mediante 53 cuencas hidrográficas, que lo conforman ríos y estos llegan hasta el Océano Pacífico.

De dicha vertiente, su superficie corresponde el 22% del territorio nacional, pero no dispone de un gran recurso hídrico natural, ya que es bajo (37,030 millones de m³/año) que representa menos de 2% del volumen de agua dulce del país.

Sin embargo, en dicha vertiente que es la más seca de las tres, habitan más del 60% de la población y se hace consumo del 87% del total de agua que se usa en el país.

De 16,500 millones de m³ de agua que se usa en esta vertiente, el 86% es para uso agrícola, el 6,7% a industrial y el 6,2% poblacional.

El estudio hidrológico se basa específicamente a la supervisión, simulación y cuantificación de esta cuenca, a través del respectivo estudio y análisis del proceso de uso de la cuenca; como también de los componentes geomorfológicos que lo conforman, los fundamentos meteorológicos y la escorrentía de extensión.

Para poder desarrollar proyectos centrales hidroeléctricas e hidráulicas, es indispensable el cálculo de caudales de diseño, esta información se obtiene mediante la observación y la medición directa de eventos con estaciones hidrométricas en las diferentes zonas de captación, desafortunadamente el recojo de esta información toma mucho tiempo, es por eso que existe otra forma para poder recopilar resultados, y es por medios indirectos, como son los diferentes modelos matemáticos que existen gracias al avance de la tecnología, se aplican mediante un Sistema de Evaluación y Planificación de Agua (WEAP por sus siglas en ingles) y se llega de manera rápida a dicho fin.

1.4 Limitaciones

Es importante contar con las condiciones del lugar donde se desarrolla la tesis, por lo tanto, es necesario hacer un buen estudio previo, ya que ayudará a planificar la ejecución de las actividades, proceso que también necesita realizar estudios.

Para la construcción de una presa, es necesario hacer diversas investigaciones, dentro de las cuales son: investigaciones geológicas y geotécnicas. Dichas investigaciones se realizan en diferentes etapas, acompañando la evolución del proyecto. Al principio se realizan investigaciones previas fundamentándose en la observación de las superficies apoyadas de planos topográficos y mapas geológicos. La información de datos que se necesita para los cálculos hidráulicos, serán recopiladas y llevadas a la Universidad Nacional Agraria La Molina y el levantamiento topográfico en la zona de Autisha se realizó con una estación total donde da mayor detalle y exactitud del terreno; y junto los ensayos de

suelos en el laboratorio de mecánica de suelos que fueron indispensables para el diseño de la Represa Autisha Modelado en el software WEAP.

El trabajo de investigación de campo se realizó a tres horas de Lima, en la provincia de Huarochiri y de gabinete se realizó en Lima, el financiamiento para la recopilación de datos y los resultados se realizaron en la Universidad Agraria La Molina - Laboratorio de Mecánica de Suelos; y los gastos cubrieron los investigadores.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Embalse proyectado “Vaso Autisha”

El vaso Autisha se ubica en el rio Santa Eulalia, exactamente a 11.5 km aguas hacia arriba de la misma comunidad, la altitud es de 4120 m.s.n.m. hidrográficamente está ubicado dentro de la cuenca del rio Rímac.

Para poder identificar este embalse se tuvo que realizar por primera vez un estudio por parte de la ONERN (OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES) dentro de la cual se hace mención al embalse del vaso de Autisha que cuenta con un aforo de diez millones de metros cúbicos (hm³), que cuenta con excelentes circunstancias geomorfológicas en la abertura y geomecánicas de las piedras en el final, que son circunstancias idóneas para un embalse de gran capacidad (ONERN, 1996)

Este embalse tiene como propósito los fines agrícolas, ya que tiene que cubrir las demandas de las diferentes zonas que tienen bajo irrigación en la cuenca media y baja, ya que en la actualidad se cuenta con dificultades de suministro de agua durante las épocas de sequedad, que son entre junio a noviembre.

Actualmente, se ha vuelto a iniciar el proyecto de la construcción de la represa en Autisha, cuyo propósito es reducir el déficit hídrico en la cañada agrícola, este proyecto se encuentra en el Plan de Gestión de Recursos Cuenca Hídrica de Rímac, lamentablemente aún no se da inicio a los estudios de pre inversión (ANA. 2014).

2.2. Importancia de la modelación hidrológica

Es importante señalar que el propósito principal de la clasificación de los materiales hídricos de un sistema, se concentra netamente en determinar, la cantidad del recurso hídrico y su efectiva distribución, es necesario contar con herramientas que se basen en la modelización. En sucesión se mencionan los diferentes modelos de cálculos matemáticos que se utilizan para dicho fin, entre estos, los géneros y el campo de aplicación (Estrela, 1992).

Se infiere que existen dos tipos de modelos matemáticos, los determinativo y escolástico. En el primero las variables se determinan por las normas físicas (teóricas o conceptuales) que se caracterizan por ser exactas y por explicar toda su variabilidad, en el tiempo se consideran a las variables como regidas en todo o en porción por las normas de destino, por consecuente se caracterizan como terminación de posibilidad (Estrela, 1992).

El modelo determinativo se caracteriza por tener una mayor capacidad que el escolástico, mayormente cajas negras, entonces se puede realizar simulaciones de aportes en cuencas no aforadas, ya que existe la posibilidad de que haya relación entre sus parámetros y las características de las físicas de las cuencas. Es por esta razón que los hidrólogos utilizan este tipo de modelo, por una superior sugestión en la extensión del cálculo de bienes hídricos, ya que arroja fases esenciales del período hidrológico en su período terrestre.

2.2.1. Implementación de los modelos determinísticos

Independientemente de distinto modelo determinativo, constituye las siguientes fases:

Formación del modelo conceptual

El diseño conceptual viene a ser la idea, esencialmente cualitativa, que se obtiene de la operatividad del sistema. Sin embargo el mismo método de modelación ayudará a conseguir una comprensión definitiva de su operatividad, desechando subjetividades principalmente en el planteamiento, es necesario exponer con anterioridad las probables hipótesis utilizando los diferentes datos que se disponen y en la experiencia que existe en sistemas similares. Maidment, Dr. Cedex. (1993).

- Construcción del modelo

En esta fase de la fase de implementación, en el cual se plantean las diferentes ecuaciones que detallan diferentes procesos que forman parte en el modelo conceptual realizado, relacionándose entre sí, y se procede a la realización de la resolución mediante técnicas analíticas o numéricas.

Es importante señalar que es necesario aprovechar los esfuerzos que han sido realizados por otras personas u organismos, ya que es un punto clave para el modelo determinístico, aprovechando en parte los mismos problemas que son objeto de estudio que se adaptan o relacionan con la hipótesis de funcionamiento. (Estrela, 1992).

- Calibración de los parámetros del modelo

Se considera a la calibración como la fase del procedimiento de modelización, en la cual se considera que es necesario que la operatividad del sistema matemático desarrolle un mayor o menor rango del sistema. Confirma que estos datos que se disponen “variables y parámetros” se caracterizan por ser cualitativa y cuantitativamente simultáneas. También es importante señalar que la calibración es utilizada para poder dar valor numérico a parámetros que carecen o tienen poca información de datos.

Independientemente si existieran datos sobre los parámetros del modelo, es necesario haber calibrado, ya que, si no lo hacemos y pasamos a la simulación, será difícil hallar la confiabilidad de estos resultados. (Estrela, 1992)

Validación del modelo

Se trata de hacer la comprobación correcta y adecuada de la operatividad del diseño con análisis no usados del desarrollo de calibración. Cabe mencionar que en la etapa se da mínimo valor en la práctica, llegando a utilizar todos los registros que se disponen en proceso de calibración. Es elemental resaltar que este modelo de acción se justifica solo cuando se tiene disponibilidad de secuencia de observaciones muy pequeñas. (Estrela, 1992)

2.2.2 Tipos de modelo de simulación continúa.

Los diseños matemáticos determinativo se enfatiza por utilizar diseños hidrológicos colocados de simulación constante de esta cuenca, llegando a simular el ciclo hidrológico en la etapa, completa y continuada en el tiempo, generando análisis de humedad entre los diversos procesos desde la lluvia hasta que el agua fluya por un río. De acuerdo a esto suelen denominarse sistema determinativo de análisis de humedad.

El modo de sistema distribuidos todavía no está muy desarrollado, esto debido a la diversidad de valor de estas ecuaciones diferenciales del flujo y mantenimiento de masa y el recurso de información requerida.

“Las principales aplicaciones de los modelos de simulación continua en el campo d evaluación de recursos hídricos son las siguientes”:

- a) Extraer fases de exportaciones en lugares de medición a partir de fases metereologicas mas extensas.
- b) Producir fases de aportaciones en lugares de no medición a partir de la fase meteorológica.

2.3 Modelo WEAP

Para la información se usó un diseño WEAP, que pertenece a un sistema determinado que emplea ecuaciones que simulan las etapas asociadas, utilizando la descomposición de variables que interceden en este período hidrológico y semi-distribuido en el cual se distribuye de modo discreta las variables concurrentes y determinativos, debido a que las ecuaciones no estiman procesos escolástico para el procesamiento de datos de las variantes hidrológicas de esta cuenca.

Este Sistema Evaluación y Planificación del Agua (WEAP), se le considera como una herramienta actualizada para el estudio hidrológico, la programación y repartición de agua. También admite la inserción de los diseños para diferentes modelamientos, para este trabajo de investigación se escogió del modelo *Soil Moisture Method* (balance de humedad del suelo) utilizando el diseño metodológico – modelación hidrológica y elementos hídricos con el diseño WEAP.

“El modelo WEAP fue creado por el *Stockholm Envaronen Institute* (SEI) de EEUU. Su funcionamiento se basa en el principio básico del balance hídrico y puede ser designado a una sola cuenca o sistemas de cuencas. El modelo hidrológico que está constituido en el WEAP es espacialmente continuo con áreas de estudio configuradas como un set de subcuencas, que estas cubren toda la extensión de la cuenca que se está analizando”.

2.3.1. Modelamiento de aportaciones

El WEAP añade un diseño conceptual de innovación precipitación-escorrentía designado (Método de la Humedad del Suelo) tal como se aprecia en la figura N° 1. Dicho modelo se usó para representar las aportaciones de la Subcuenca Santa Eulalia.

“Este método se caracteriza por tener dos reservorios de balance agua, para las diferentes coberturas y uso de suelo, primero se distribuye el

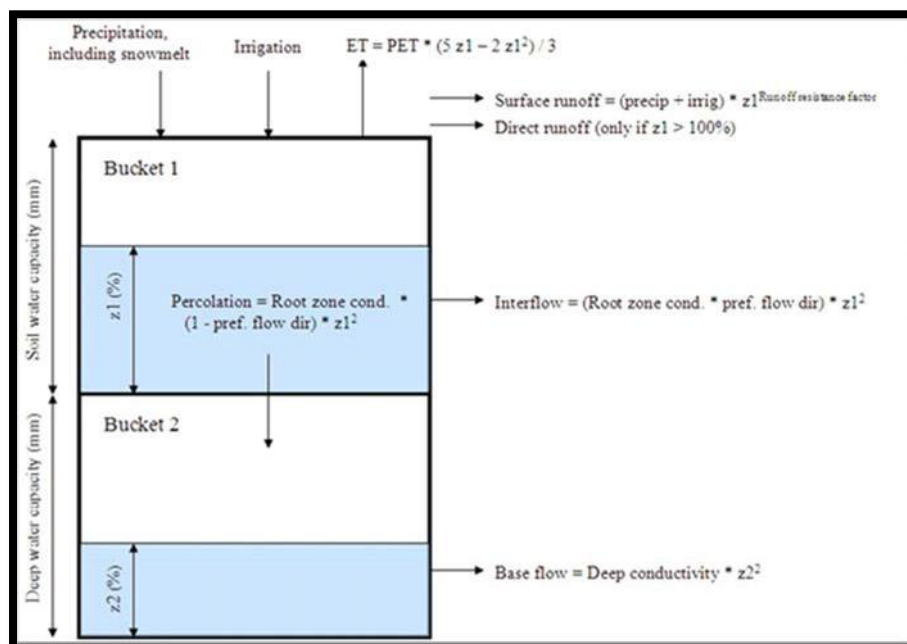
agua entre escorrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación”.

En la capa óptima se incorporan las contribuciones de precipitación y fundición de hielo, asimismo del riego, y son consideradas como una pérdida desde la cavidad o espacio y flujos de caudal. También, consta la existencia de percolación a la capa más honda, la cual debe ser calibrada y poder optimizar la simulación de flujo soporte de la cuenca.

“La escorrentía total se conceptualiza como la suma de la escorrentía directa y superficial, la escorrentía sub-superficial que está representada por el modelo y el flujo base obtenido de las capas de suelo más profundas. Este método no considera el tiempo de tránsito que existe entre los aportes de las distintas afeas hacia al cauce.

“Los Catchment son consideradas como las áreas o subcuencas que están asociadas con los parámetros del terreno, las cuales se calibran de acuerdo a las propiedades del suelo, la vegetación, entre otros. Las variables meteorológicas son incorporadas de forma independiente.

Figura N° 1: Esquema del balance modelo “Soil Moisture Method”



Fuente: Manual del Usuario del software WEAP.

Una unidad de la cuenca (Catchment) puede ser segmentada en N fracciones representando distintos tipos de uso y suelo. Un balance de agua se calcula para cada fracción de área j de los N considerados. El clima se asume uniforme sobre cada “catchment” y este informe de agua en el inicio del comportamiento del tanque uno, dado por la siguiente expresión:

$$Rd_j \frac{\Delta z_{i,j}}{\Delta t} = Pe(t) - PET(t)k_{c_j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - Pe(t)z_{1,j}^{RRFj} - f_j K_{1,j} z_{1,j}^2 - (1 - f_j)k_{i,j} z_{1,j}^2$$

Dónde:

- $Z_{1,j}$ representa al acumulamiento relativo dado como división del acumulamiento general en la área de raíces.

- Rd_j (mm) es la extensión de acumulamiento real en la área de raíces para la porción “j” de cobertura de terreno.

- Pe (t) mm es la precipitación general, en la cual introduce el deshielo de la zona de nieve efectiva en cada unidad de cuenca, en el cual m_c es el factor de enlace dado:

$$m_c = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & T_i < T_s \\ 1 & T_i > T_l \\ \frac{T_l - T_i}{T_l - T_s} & T_s \leq T_i \leq T_l \end{array} \right. \text{ si}$$

Dónde:

“ T_i ” Es una temperatura dada para por el mes “i”, y $T_l - T_s$ son los umbrales de enlace y congelamiento, respectivo. La extensión de nieve c_i es un desarrollo del “ m_{c_i} ” y la precipitación general mensual detallada P_i , dada la siguiente ecuación:

$$Ac_i = Ac_{i-1} + (1 - m_c)P_i$$

Donde esta tasa fusión se halla:

$$m_r = Ac_i m_c$$

Después la precipitación real se halla:

$$P_e = P_i m_c + m_r$$

- PET (t) mm es una evapotranspiración de fuerza hallada en esta ecuación de Penman-Monteith, en la cual K_c es factor de cultivo en la porción de cobertura del suelo "j".

- RR_f es un coeficiente de la resistencia a la escorrentía del diseño de amplitud "j" de suelo. Cuando los valores son superiores implican estos menos escorrentía superficial.

- f_j es una dirección de flujo preferente en el diseño de cobertura "j" para el terreno. El factor es quien define la repartición entre flujo horizontal y/o vertical.

- K_{sj} es el conducto saturado del proceder supremo, para la porción "j" de la magnitud de cuenca.

En la figura 1, SWC (mm) y DWC (mm) representa la máxima capacidad de almacenamiento de los compartimientos, ya sean superiores e inferiores.

El resultado de humedad del terreno del segundo compartimiento, en las situaciones en los que no hay un nodo del agua subterránea, tiene el siguiente cálculo:

$$S_{\max} \frac{\Delta z_2}{\Delta t} = \left(\sum_{j=1}^N (1 - f_j) k_{1,j} z_{1,j}^2 \right) - k_2 z_2^2$$

Dónde:

- S_{\max} representa la capacidad máxima de acumulamiento de este 2do tanque.

- K_2 es la conductividad saturada de esta conducta inferior k_2 es expresado por un único valor por cada valor de cuenca, por esta razón carece de subíndice "j".

"Al momento de introducir un acuífero en el modelo, se establece una relación entre la unidad de la cuenca y el nodo de agua subterránea,

también se define la recarga del acuífero R (volumen/tiempo)", con la siguiente ecuación:

$$R = \sum_{j=1}^N A_j(1 - f_j)k_{1,j}z_{1,j}^2$$

2.3.2 Asignación de agua en el modelo.

El WEAP se encarga de calcular el balance del agua mensualmente. Es importante mencionar que el agua se reparte específicamente para la satisfacción en necesidades hídricas.

Cuando se realiza el cálculo mensual, es independiente al anterior, a excepción cuando exista almacenamiento de agua. De esta manera, el agua que es adquirida en mes, es almacenada en un acuífero o depósito, o tiene una salida desde el sistema cuando finaliza el mes.

El resultado de los cálculos, nos hacen asumir que todos los flujos se realizan instantáneamente, consiguiente a esto, un lugar de petición puede permitir a salirse agua del río, se puede hacer consumo una porción del agua que ha sido extraída y regresar el resto que no ha sido consumido a una planta de tratamiento o a un riachuelo. Cabe realzar que el caudal de regreso de cada lugar de demanda, siempre está aprovechable para su respectiva utilización en el mes, en un lugar de demanda de aguas abajo del lugar de partición de agua falto.

El modelo realiza cálculos para hallar la asignación del agua para cada lugar de demanda, siguiendo las fases:

1. Demanda hídrica anual y mensual en cada lugar de demanda, se tiene en consideración si hay un requerimiento del caudal.
2. Flujos de escorrentía y/o infiltración, detallamos que no existe flujo de la irrigación.

3. Entradas y salidas de agua en cada nodo del diseño. En este punto se incluyen los cálculos del caudal que han sido extraídos del río para atender las necesidades y/o demandas y el respectivo acumulamiento en los embalses. Tal punto se desarrolla con la programación lineal, que trata de aumentar la cobertura de los lugares donde existe demanda y disposiciones de caudales ecológicos.

El WEAP usa un método de programa lineal, este objetivo es de optimizar y aumentar la conformidad de suministro de agua en los lugares en el que hay demanda, en cada punto de un sistema (WEAP), obtiene una equivalencia de precedencia que oscila a partir 1, su mayor valor de prioridad es hasta 99 que es el valor menor de prioridad.

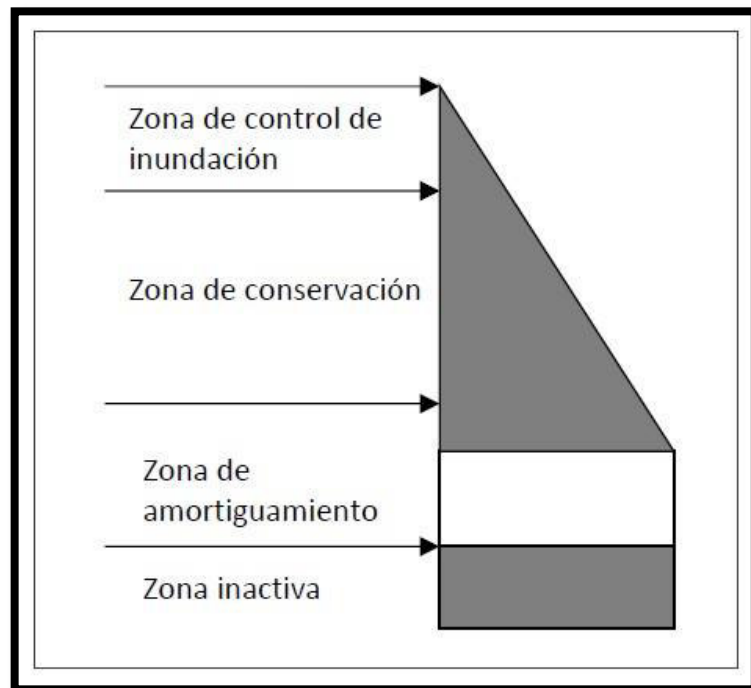
Es de carácter importante asignar un valor adecuado y correcto a cada elemento del sistema modelado, independientemente sea el caso de una demanda agrícola o poblacional, requerimiento de caudal ecológico, derivación de agua hacia un embalse, etc.; consecuente a esto el sistema de programación lineal de la WEAP se encarga de la distribución del agua de acuerdo al valor de prioridad asignado.

Primero, el diseño de programa lineal es la encargada de solucionar la consigna de agua a diversos elementos de prioridad uno, anulando lo establecido a diferentes factores que tienen otros valores de prioridad. Luego de haber atendido a los factores de prioridad uno, el sistema pasa a abastecer los elementos que son de prioridad dos.

2.3.3. Operación de reservorios

Los almacenamientos son de manera independiente al caudal del río, según el programa WEAP. Los embalses se encuentran representados y se dividen en 4 zonas, que son desde la parte superior hacia la parte baja: lugar de manejo de inundación, lugar de conservación, lugar de amortiguamiento y el lugar en reposo.

Figura N° 2: Modelación de embalses en WEAP.



Fuente: Manual de usuario del programa WEAP

La zona de protección y moderación forman el agua útil para su beneficio. El WEAP se encarga de garantizar las zonas de verificación de inundación que se encuentren a condiciones, de este modo se permite ejecutar la remisión del agua del sector que está en protección para lograr efectuar con los requerimientos de los lugares de demanda o para lograr producir la reproducción hidroeléctrica.

Cuando el nivel de almacenamiento de agua desciende o baja hasta la zona de amortiguamiento, esta liberación está controlada ya que existe un coeficiente de amortiguamiento establecido por el operador.

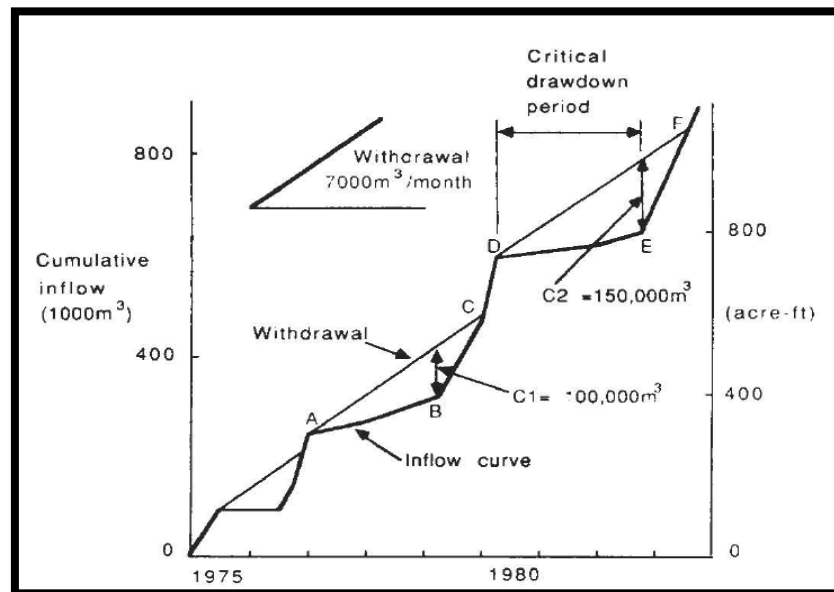
Si el acumulamiento de agua en un reservorio es menor a los demás elementos, el WEAP se encarga de asignar la mayor cantidad de acumulamiento que dispone, enfatizando el abastecimiento de los principales lugares donde hay demanda, considerando las emisiones de distintos almacenes o vaciadas de los ríos.

2.4 Determinación del volumen de almacenamiento

2.4.1 Método de Rippl

El método Rippl fue una de los principales métodos que se utilizaron para evaluar la dimensión de acumulación de un estancamiento para gratificar la demanda. A continuación, la ilustración:

Figura N° 3: capacidad de acumulación en el proceso de curva masa



Fuente: Handbook of Hydrology (D. Maidment, 1993)

Los pasos a continuación son:

- La construcción de una curva de acumulación de caudales, necesariamente con informaciones mensuales. Determinar la pendiente de las demandas acumuladas, en concordancia en la programación del gráfico.
- En el esquema de acumulaciones, se coloca la línea de demanda acumulada en tal manera que sea tangencial a la curva acumulada de caudales, tal como se demuestra en gráfico mencionado.
- Es la medición de la diferenciación más amplia entre la curva de caudales y de demanda.

El ejemplo anterior, C2 es mayor que C1, por ende la capacidad de diseño se tomaría como el valor de C2 ($150\,000 \text{ m}^3$), de la Figura se puede

observar que el reservorio está lleno en el punto A, y luego empieza a vaciarse desde A hasta B, posteriormente se vuelve a llenar de B a C, de C a D, el agua se vierte por el vertedero, de ahí nuevamente empieza a vaciarse hasta llegar a E (embalse completamente vacío).

En este proceso de curva masa, existen 2 etapas:

- a) El reservorio se encuentra completo al principio de la etapa de vaciado crítico (D a E en el ejemplo anterior).
- b) Como el estudio utiliza información acumulada, está implícito a que próximos eventos de caudales no tendrán una sequía más rígida que la usada en el proceso.

El proceso expone 2 atributos de suma importancia:

- a) Es simple de entender.
- c) Por la utilización de datos históricos la estacionalidad, la autocorrelación, y otras facetas de la fase histórica de caudales son tomadas en consideración.

El método de la curva masa de Rippl es equivalente al algoritmo de picos secuentes, por otro lado presenta complicaciones al momento de considerar una demanda variable y sistemas de múltiples reservorios.

2.4.2 Análisis de los picos secuenciales

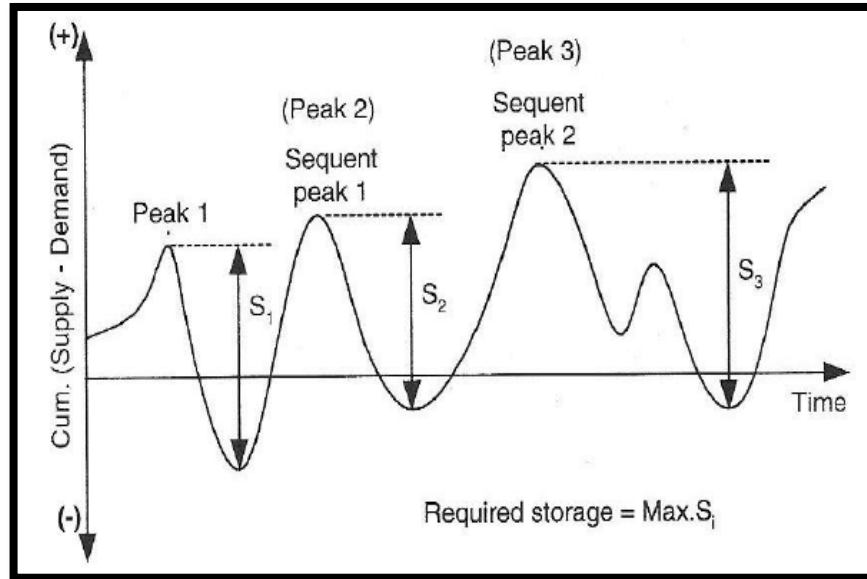
Al momento de hacer el estudio de picos secuenciales, es más acertado la utilización fases hidrológicas de amplias, o también cuando la demanda no es continua.

El proceso es el siguiente a mención:

- a) Se halla la diferencia entre entrada (S: "supply") y demandadas (D: "demand").
- b) Los resultados acumulados de la diferencia "S-D" se grafica.
- c) En la figura se halla el pico inicial y el siguiente mas amplio

- d) El acumulamiento propuesto entre estos 2 puntos debe ser la diferencia entre el primer pico y el punto más bajo en esta fase.
- e) Tal analisis siempre se reitera para todos los picos de la fase. El mayor acumulamiento hallado es la condición de diseño que se requiere.

Figura N° 4: Diagrama de picos secuenciales.



Fuente: Handbook of Hydrology (D. Maidment, 1993)

Cuando el registro de caudales es muy largo, existe la posibilidad de que la solución grafica demande mucho trabajo. Para esta situación, se usa el proceso analítico. Tal acumulamiento requerido V_t al final de la fase "t" se enuncia de la siguiente manera:

$$V_t \begin{cases} D_t - S_t + V_{t-1} & \text{si es positivo} \\ 0 & \text{si es negativo} \end{cases}$$

Al principio, el valor inicial de V_{t-1} es cero y el cálculo continúa hasta el final del periodo en análisis, el máximo valor calculado de V_t es el almacenamiento requerido.

2.5. Relaciones entre volumétricas y gravimétricas del suelo

En la actualidad en el concepto de mecánica de suelos moderna, infiere que la superficie puede hallarse constituido por 2 periodos (suelos saturados), o tres fases (suelo parcial saturado).

Para la ramificación del trabajo se tomó en distinción como la superficie bifásica a los almacenes de superficie que se hallan por debajo del nivel de agua freática y suelo parcial saturado por superioridad del equivalente.

2.5.1. Relación de Vacíos

Se deduce según la estrecha relación existente del volumen de vacíos y el volumen de sólidos, esta expresión es adimensional y se desarrolla de esta forma:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Dónde:

V_v = volumen vacíos.

V_s = volumen sólidos.

2.5.2. Grado de saturación

El volumen de agua que está alojado en el volumen de vacíos de un suelo, se infiere como el grado de saturación denotado en porcentaje, con la siguiente expresión:

$$S_r(\%) = \frac{V_w}{V_v}$$

Dónde:

V_w = volumen agua

V_v = volumen vacíos

Cabe mencionar que, para un suelo sumergido (bifásico) el grado de saturación vale cien por ciento y para un suelo seco valdrá cero.

2.5.3. Contenido de humedad

Es la relación entre el peso del agua y el peso de las partículas solidas del terreno, mayormente se menciona de manera porcentual, a continuación se describe de la siguiente manera:

$$\omega(\%) = \frac{W_w}{W_s}$$

Dónde:

W_w = peso agua.

W_s = peso de partículas sólidas.

2.5.4. Peso específico húmedo.

Se define como el peso del suelo húmedo por unidad de volumen:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Dónde:

W = peso del suelo húmedo

V = volumen

2.5.5 Peso específico seco.

Es la relación entre el peso de los sólidos entre el volumen de la masa del suelo.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

Dónde:

W_s = peso de sólidos

V_m = volumen de masa de suelo

En el desarrollo de la investigación, se utilizó la siguiente ecuación para poder hacer el cálculo específico del peso seco en función del peso unitario del suelo y la humedad:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega}$$

2.5.6 Peso específico saturado.

Se refiere al enlace que hay entre el peso del terreno y el volumen del terreno, respetando la condición $S_r = 100\%$, se determina numéricamente con la siguiente expresión:

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_\omega}{V_m}$$

2.5.7 Gravedad específica de los sólidos.

Es el enlace entre el peso de sólidos y la dimensión de los sólidos mencionado al peso específico de agua.

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_\omega}$$

2.5 Densidad relativa.

Se usa necesariamente para formular el valor de beneficio que obtienen las partículas en una superficie granular, cambiando una etapa suelta a una etapa densa y se expresa así:

$$D_r(\%) = \frac{e_{max} - e_{nat}}{e_{max} - e_{min}}$$

Dónde:

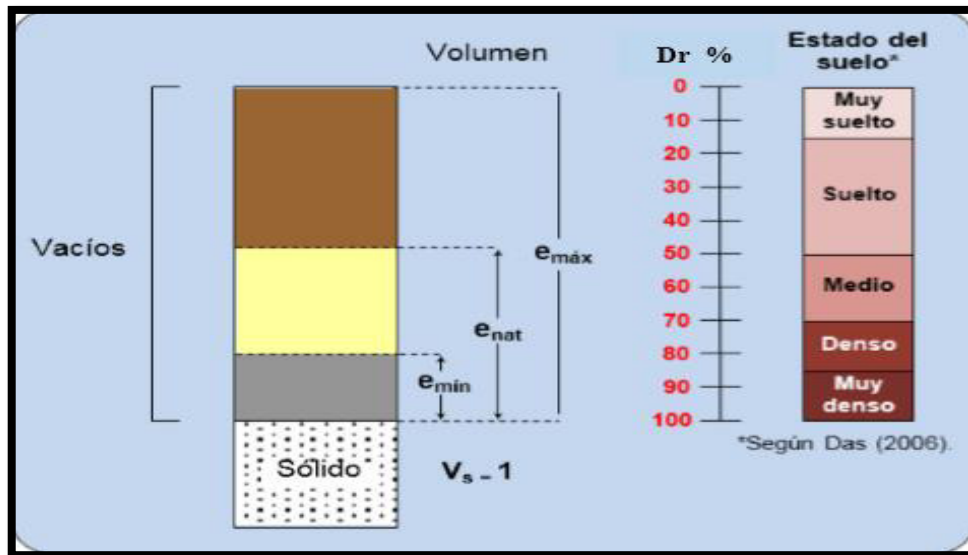
e_{nat} = relación vacíos natural.

e_{max} = relación vacíos etapa más suelta.

e_{min} = relación vacíos etapa más denso.

La densidad relativa del suelo asociada a la relación de vacíos del mismo, se presenta en la Figura 5.

Figura N° 5. Densidad relativa en suelos granulares (Lenz, 2010).



Fuente (Lenz, 2010).

Anteriormente se identificaba la densidad relativa de los suelos, se identifica la relación de vacíos máxima asociada al peso específico seco mínimo y en el estado denso se obtenía la relación de vacíos mínima asociada a un peso específico seco máximo determinado desde ensayos Proctor estándar (1993), cuando ya se hayan determinado los estados anteriores, el valor de peso específico natural fue calculado a partir de calas volumétricas in situ para relacionarlo con la relación de vacíos natural y este valor era comparado con los dos estados extremos citados y se define de la siguiente manera:

$$D_r(\%) = \frac{e_{max} - e_{nat}}{e_{max} - e_{min}}$$

Dónde:

- d_{nat} = peso específico seco natural
- $d_{mín}$ = peso específico seco mínimo
- $d_{máx}$ = peso específico seco máximo

2.7. Análisis granulométrico

Tiene como objetivo, comprobar la dimensión de las partículas que conforman una superficie, mencionado en comisión del peso general seco. En la investigación de estudios geotécnicos, se presentaba el análisis granulométrico por tamizado, y así lograr establecer las dimensiones de estas partículas de superficie, y en esta se ejecutaba la curva granulométrica y de esta se obtenía 2 indicadores cuantitativos, conocidos como característica de medición.

Factor de uniformidad (Cu): experimentado como medidas simples de la uniformidad de una superficie, Allen Hazen (Juárez y Rodríguez, 2010) planteo el coeficiente de uniformidad.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Dónde:

- D10 tamaño general, que el 10% de peso de la superficie sea de igualdad o menor
- D60 tamaño general, que el 60%, de peso de la superficie sea de igualdad o menor

Coficiente de curvatura (C_c): es el valor que se puede usar para identificarse una superficie como bien dimensionado.

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} * D_{10})}$$

Dónde:

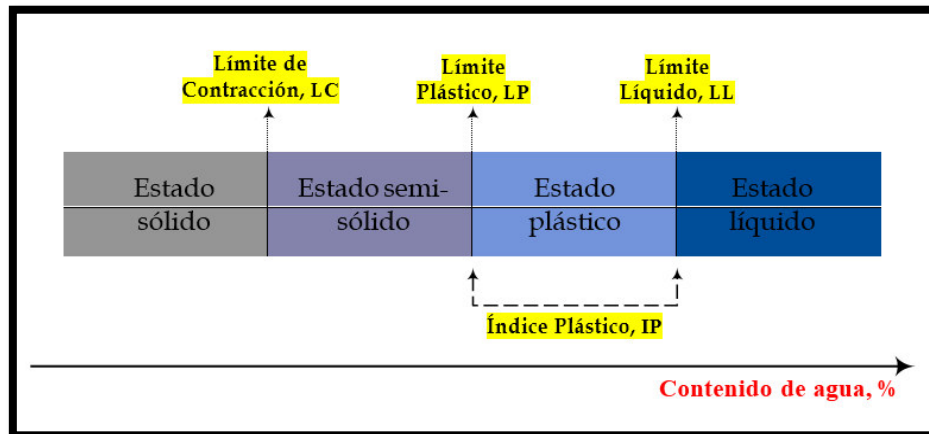
- D30 tamaño general en el 30%, de peso del terreno sea de igual o menor.

2.8. Límites de consistencia

La estabilidad de los suelos finos se refiere al grado de adhesión entre las partículas del suelo y a la resistencia ofrecida contra las fuerzas que tienden a deformar o romper el suelo y a la resistencia ofrecida contra las fuerzas que tienden a deformar o romper el suelo". (Terzaghi et al, 1996).

El límite de Atterberg, define que en una superficie que tiene porción fino solo puede poseer cuatro estados de consistencia, según el contenido del agua. De esta manera una superficie está en etapa sólido cuando se encuentra seco, cruzando, al aumentar agua, al estado de semisólido, plástico y por último líquido. El contenido de humedad y los sitios en transición de una fase a otra, son llamados límite de contracción, límite plástico y límite líquido (Lambe, 1979), lo precedentemente citado se estima en la figura N° 6.

Figura N° 6. Límites de Atterberg.



Fuente (Lenz, 2010).

En los límite líquido y plástico, se les nombra como índice de plasticidad IP y simboliza la intersección de humedad para llegar a la fase semisólido de un terreno, a continuación se expresa de la siguiente manera:

$$IP(\%) = LL - LP$$

Dónde:

- LL = límite líquido y LP = límite plástico

Los resultados obtenidos de los ensayos de los límites son graficados en la carta de plasticidad, en la cual el eje de las abscisas son los valores del límite líquido y por consiguiente las ordenadas en el índice plástico, de esta forma se logra identificar la plasticidad del suelo fino y clasificación. El límite de contracción se utiliza para poder identificar las características de expansión en los suelos que son arcillosos y se define como el contenido de agua por debajo del cual la pérdida de agua por evaporación no da lugar a una reducción de volumen del suelo (Terzaghi, K., et al. 1996)".

El estudio elaborado por la memoria geotécnica, resultaron que no se ejecutaron estudios del límite de contracción, su valor hallado fue representado de la siguiente forma (SRH, 1970):

$$LC = \frac{50LP}{50 + IP}$$

Para saber el concentrado de una superficie fino, se calcula el índice acerca al término líquido y se considera estable cuando se acerca al índice plástico, teniendo datos negativos para terrenos firmes y se expresa:

$$IL = \frac{\omega - LP}{IP}$$

En la tabla 1 se señala el estado de la consistencia de suelo de acuerdo a su IL.

Tabla N° 1. Consistencia suelo fino

| Índice de Liquidez, IL | Consistencia del Suelo |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1.0 - 0.80 | Muy Blando |
| 0.80 - 0.65 | Blando Medio |
| 0.65 - 0.40 | Firme |
| 0.40 - 0.25 | Muy Firme |
| < 0.25 | |

Fuente (González de Vallejo et al, 2002)

2.9 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, S.U.C.S.

Para lograr obtener y haber detectado y encasillado los suelos de diferente acumulación, se usó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos S.U.C.S. (norma ASTM D 2587), la cual separa la superficie en 2 unidades: suelos granulares aquellos que son retenidos en la red #200 y suelos finos que pasan la red #200, se utilizó la carta de plasticidad, para lograr uniformar la plasticidad de los suelos fino (Juárez y Rodríguez, 2010). Las definiciones de distribución se muestras en la tabla 2.

Tabla N° 2. Criterio para la identificación de suelos Malla# Abertura mm

| | | | | | |
|------|-------|---|---|---|---|
| 1" | 25.4 | Suelos Granulares (retenidos en malla #4) | Gravas (50% del Peso es Retenido en malla #4) | GW Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena, con poco o nada de finos. GP Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena, con poco o nada de finos. GM Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo. GC Gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla. | |
| 3/4" | 19.1 | | | | |
| 3/8" | 9.52 | | | | |
| 4" | 4.76 | | | | |
| 10 | 2.00 | Suelos Granulares (retenidos en malla #200) | Arenas (50% del peso pasa por la malla #4 pero se retiene en la #200) | SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos. SP Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco a nada de limo. SM Arenas limosas, mezcla de arena y limo SC Arenas arcillosos, mezcla de arena y arcilla. | |
| 20 | 0.84 | | | | |
| 40 | 0.42 | | | | |
| 50 | 0.297 | | | | |
| 60 | 0.250 | | | | |
| 100 | 0.149 | Suelos finos (pasan la malla #200) | Limos y arcillas (50% del peso pasa la malla #200) | Sí $LL < 50\%$ | ML Limos inorgánicos, polvo de rocas limos arenosos. CL Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas arenosas. OL Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. |
| 200 | 0.075 | | | Sí $LL > 50\%$ | MH Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos. CH Arcilla inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas. OH Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad. |
| | | | Alto contenido de materia orgánica | P_t turba y otros altamente orgánicos | |

Fuente S.U.C.S. (ASTMD 2487)

2.10 Presión vertical efectiva

Aquella tensión vertical efectiva (σ'_v) de una superficie saturada se describe como tensión general vertical menos la tensión de pro, lo antecedente se define así:

$$\sigma'_v = \sigma_v - u \dots\dots\dots (a)$$

Donde:

- σ_v = Presion general vertical
- u = Presion de pro

Presión general vertical (σ_v) a la zona en procesamiento de datos de los esfuerzos de que se haga, es conforme a la masa volumétrico de la superficie por la cavidad (figura 7), se expresa con la siguiente ecuación:

$$\sigma_v = \gamma_m z$$

Donde:

- z = profundidad o espesor
- γ_m = profundidad especifico del material

La presión respecto al agua, se define como resultado del peso específico del agua por la hondura iniciada desde la cota de aguas freáticas, se define como:

$$u = \gamma_w z$$

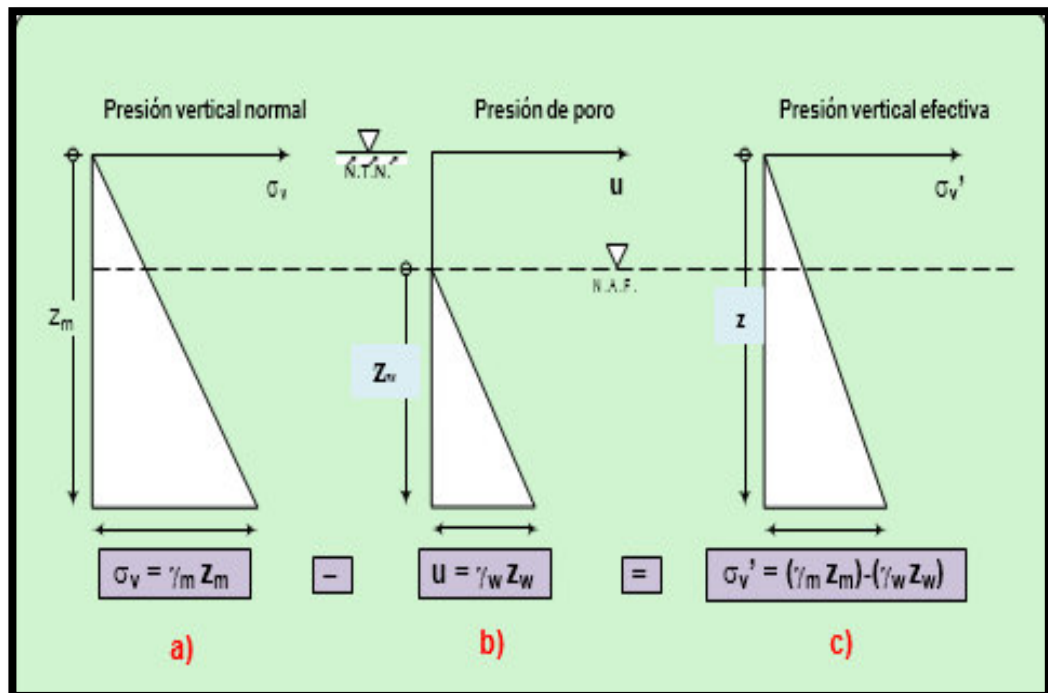
Dónde:

- γ_w = peso especificado agua
- Z = profundidad y/o espesor

Se utilizó la teoría antes descrita, para poder tener las presiones verticales efectivas, estas presiones son determinadas por la condición de la

altura de agua freática, por encima del N.A.F. se establece la tensión intersticial vale 0 y no toman en importe a tensiones capilares por efectos prácticos, entonces las tensiones verticales reales son equivalentes a las tensiones generales verticales ($u = 0$). Las tensiones efectivas por debajo de la altura freática, se determinan usando la ecuación (a) para lograr establecer el gráfico de tensiones efectivas similares en la que aparece en la Figura 7.

Figura N° 7. Diagramas de presión vertical en la masa de suelo



Fuente (Das, 2006)

2.11 Permeabilidad

Cada suelo tiene la ocasión de ser permeable cuando sus vacíos son constantes, pero, la medida de permeabilidad varía dependiendo de la muestra de la superficie que se trate. El flujo del elemento cuando se mantiene poroso y está dominado por la Ley de Darcy (Juárez y Rodríguez, 2010), que se usó las definiciones de hidráulica como fue la Ley de Continuidad de Laplace en el equipo la cual se prueba en la Figura 2.5, en la figura se menciona a las fuerzas piezométrica de puntos A y B, en relación a la Ley de Bernoulli, esta se menciona en la ecuación dada por:

$$h_n = Z_n + \frac{u_n}{\gamma_w} + \frac{v_n^2}{2g}$$

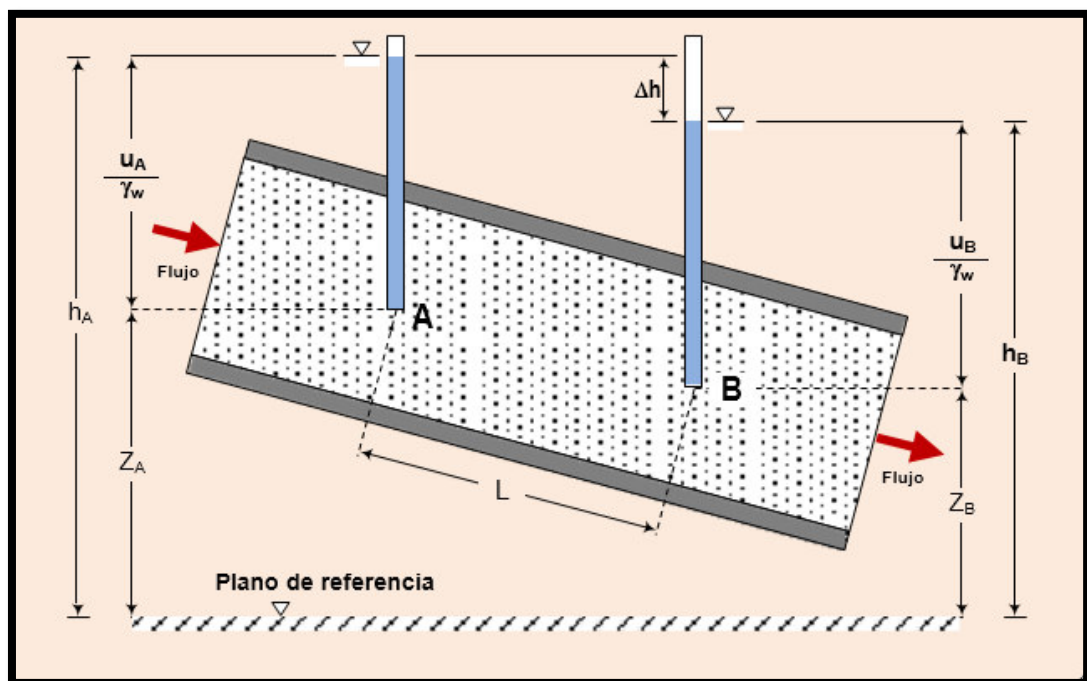
Dónde:

- h_n = carga total
- Z_n = carga de elevación
- u_n = presión
- v_n = velocidad flujo
- g = aceleración de gravedad
- γ_w = peso específico del agua

Cuando la modalidad (figura 8) no se encuentra en una igualdad empieza el flujo de agua mediante el medio poroso, su aceleración es corta por consecuente es desapercibida de la ecuación de Bernoulli y se expresa de la siguiente forma:

$$h = Z + \frac{u}{\gamma_w}$$

Figura N° 8. Flujo de agua mediante masa de suelo



Fuente (Das, 2006)

El flujo de agua es establecido debido a la pérdida de carga entre el producto A y B, cruzando de un estado de menor a mayor presión; se le denomina gradiente hidráulico (i), a la relación que existe entre la pérdida de carga en la longitud paralela al flujo del agua en el dispositivo entre los puntos A y B (Figura 8), y se expresa con la siguiente expresión”:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Dónde:

- Δh = La pérdida de carga referida al punto A y B.
- L = La longitud en los puntos A y B que es paralela en dirección del flujo.

Cada velocidad detalladamente corta en el cual el flujo es laminar, Darcy planteo que el consumo es definido así, (Juárez y Rodríguez, 2010.):

$$Q = KA I \dots (b)$$

Dónde:

- K = factor de permeabilidad de la superficie
- A = El área general de unidad transversal
- I = El gradiente hidráulico.

El consumo de una unidad es parejo a la extensión de la unidad por la expedición de flujo (Trueba, 1995), actualmente, igualando las definiciones de la ecuación (b) con la enunciación antes mencionada:

$$Av = kAi$$

Entonces

$$v = ik \dots (g)$$

Dónde:

- v = velocidad flujo
- i = gradiente hidráulico, el cual presenta la pérdida de carga de longitud de flujo en los puntos A y B.
- k = coeficiente permeabilidad

Esta ecuación (g) es nombrada como la Ley de Darcy y se utilizó esta introducción para lograr conseguir la permeabilidad del suelo fino y granular. Este factor de permeabilidad k dependerá primordialmente del prototipo de terreno a analizar, por otro ámbito asimismo intervienen varios elementos (Das, 2006):

- Relación vacíos
- Granulometría suelo
- Viscosidad fluido
- Temperatura agua
- Grado saturación

Los terrenos arcillosos y la aglutinación se caracterizan por ser iónica y por material orgánico.

2.12 Identificación de carga Preconsolidación con criterio de Casagrande con el detalle de comprensibilidad de arcillas naturalmente consolidadas

La carga (σ'_c) representa la mayor tensión que el terreno logró soportar en su historial geológica. Se utilizó el método de Casagrande, haciendo uso de la curva de comprensibilidad ya utilizadas que se obtuvo de estudios geotécnicos, para poder identificar el peso de preconsolidación en las arcillas (Juárez y Rodríguez, 2010).

Cuando ya se haya identificado la carga de preconsolidación y la presión vertical efectiva en el lugar, se obtenía el parámetro OCR que es la relación

de sobreconsolidación e una arcilla, y nos muestra si un suelo fino es normalmente consolidado ($OCR < 1$) o preconsolidado ($OCR > 1$)

Se especifica con la siguiente forma:

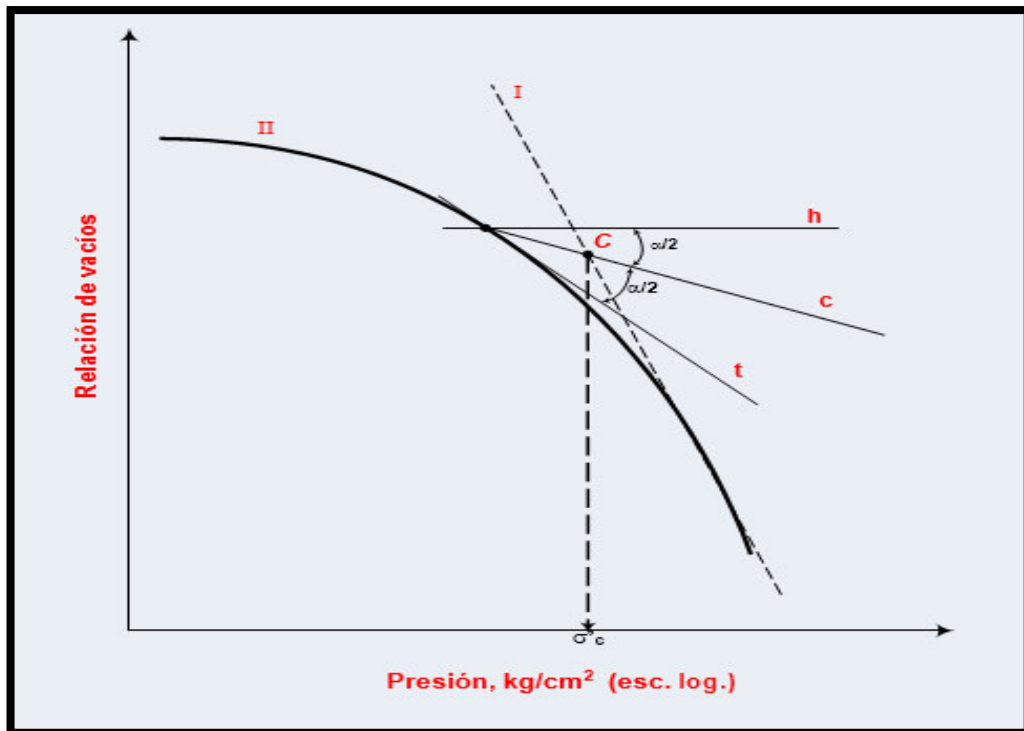
$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_v}$$

Dónde:

- σ'_c = carga preconsolidación
- σ'_v = presión vertical

La carga de preconsolidación se identifica en una curva de compresibilidad como se muestra en la Figura 9 (método de Casagrande), se observa el punto C que tiene como abscisa la carga de preconsolidación σ'_c .

Figura N° 9. Identificación de la carga de preconsolidación



Fuente (Juárez y Rodríguez, 2010)

Una vez que se hayan identificado las arcillas en esta investigación, que se obtuvieron de la curva de compresibilidad de laboratorio, las , las curvas del espacio como se ve en la Figura 10, basándose en el trabajo de Schmenrtmann (1995), del cual el punto “b” es la continuación del trecho casto de esta curva de laboratorio y en el punto “a” es la coordenada de comparación en vacíos y esta presión en la cual está sumergida el patrón in situ y lograr la curva del área, que se utiliza al tasar el índice de compresibilidad, de esta pendiente de curvas.

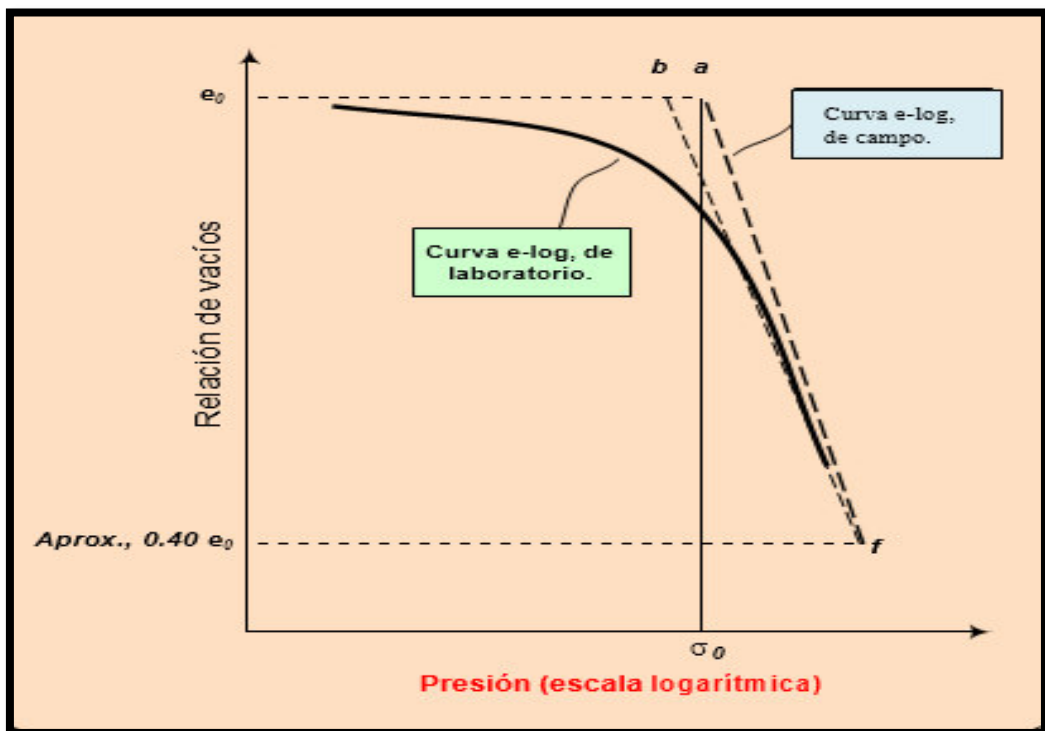
Para el cálculo del C_c , se usó la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{e_0 - e_1}{\log_{10} \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_0} \right)}$$

Dónde:

- e = relación de vacíos
- σ = esfuerzo vertical

Figura N° 10. Curva de compresibilidad de laboratorio y campo para una arcilla frecuentemente consolidada.



Fuente (Schmenrtmann, 1955)

2.13 Resistencia al refuerzo cortante.

2.13.1 Ensayo de corte directo.

Al lograr la identificación de parámetros de fuerza de los ensayos del corte directo a las pruebas de arena, se empleó la Tesis de Javier Esquievel (2008) de la cual se tuvieron los envolventes de detalle.

Para poder identificar el refuerzo cortante (τ_f) en el terreno se usó la teoría de falla de Mohr-Coulomb, enunciada:

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \emptyset \dots\dots (c)$$

Dónde:

c = cohesión del suelo

σ_n = esfuerzo normal general.

\emptyset = ángulo de fricción interna

Los terrenos saturados, Terizaghi (1926) se contempló la trascendencia del resultado de la tensión del agua en la solidez al refuerzo cortante, teniendo esto en la distinción, la ecuación (c) se expone en labor de fuerzas reales expresado:

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - u) \tan \varphi'$$

Dónde:

c' = cohesión expresada en función de refuerzos normales.

u = presión intersticial

σ_n = esfuerzo normal total

φ' = ángulo de fricción interna.

El ensayo de corte directo, fue denominado así, ya que mide directamente los esfuerzos normal (σ_n) y tangencial (φ) en el plano de falla (Whitlow, 1994) y de esta forma poder identificar los parámetros de resistencia de un suelo. Ven Te Chow (1994).

Los esfuerzos que se vieron anteriormente, son determinados a partir de la carga normal y de corte, que son aplicadas a la muestra en el ensayo, se calculan con la siguiente expresión:

$$\sigma_n = \frac{N}{A}$$

Donde

N = carga normal

A = área plano de corte

Y = calculo el esfuerzo tangencial

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Donde:

F = fuerza tangencial

A = área del plano de corte

Teniendo ya las características de la permeabilidad de la arena y de la prueba de corte directo en la cual no solo se maneja el drenaje de la prueba, el cual en estas circunstancias, su tensión del pro equivale a 0 ($u=0$), de esta forma las tensiones normales utilizadas (σ_n) son parecidos a las tensiones efectivas del terreno (σ_n) y la norma de Mohr Coulomb.

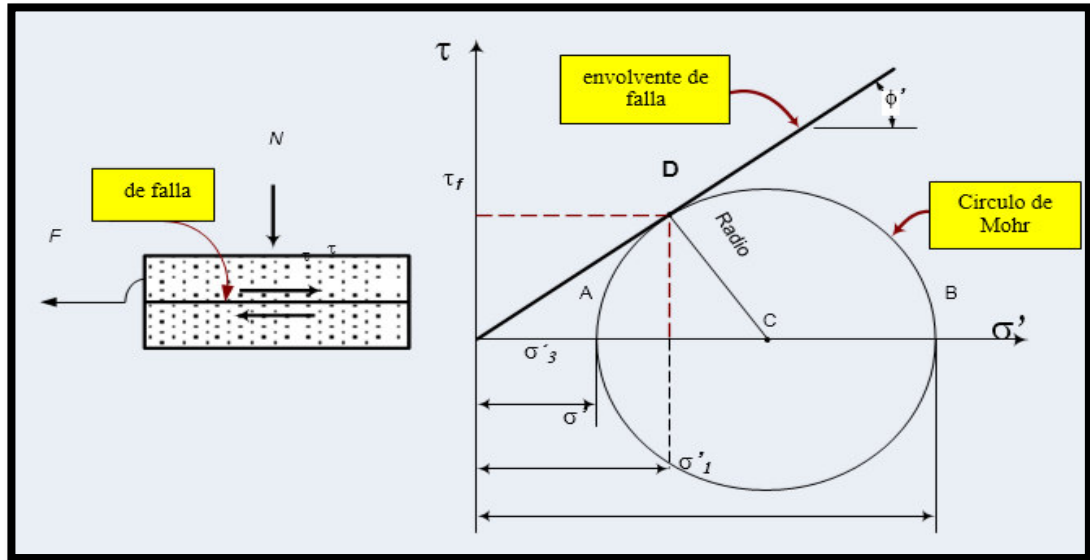
$$\tau_f = \sigma' \tan \varphi' \dots\dots (d)$$

Los términos de la ecuación anterior ya han sido definidos y la representación gráfica de la misma se presenta en la Figura 9.

En la figura 11, se muestra el plano de falla condicionado en una muestra de arena, la carga normal y la que genera el esfuerzo de corte; la figura 9 simboliza la envolvente de falla que pasa por el origen y la ecuación (d) representa una línea recta en el plano cartesiano que pasa por el punto D con coordenadas, y es tangente a un círculo de Mohr, donde su radio es

ortogonal a la envolvente de falla, y con este se puede definir los esfuerzos principales mayor y menor.

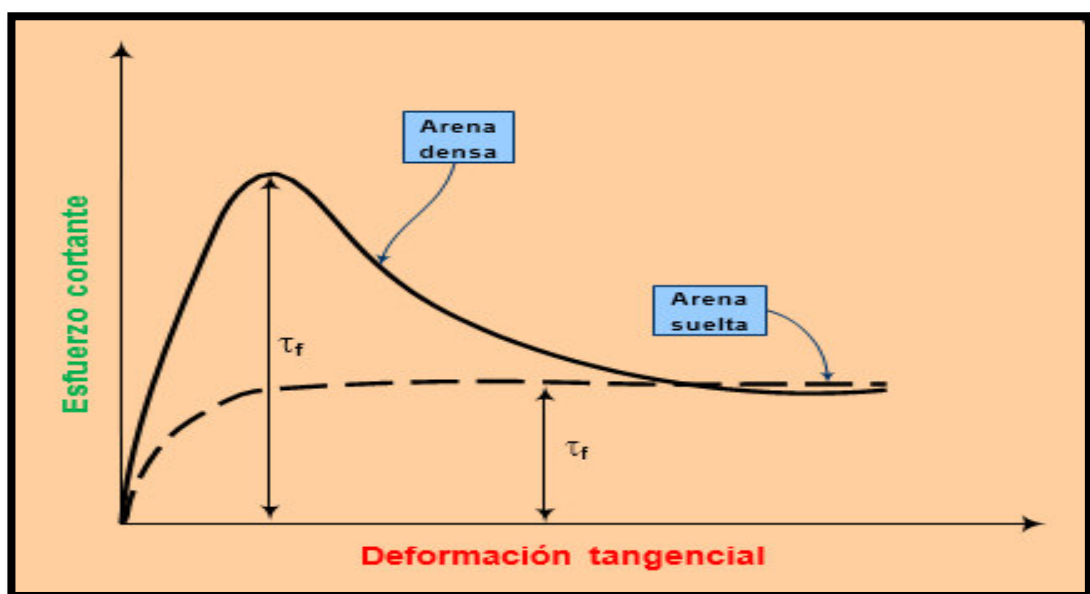
Figura N° 11. Ensayo de corte directo en arena, plano y envolvente de falla.



Fuente (Whitlow, 1994)

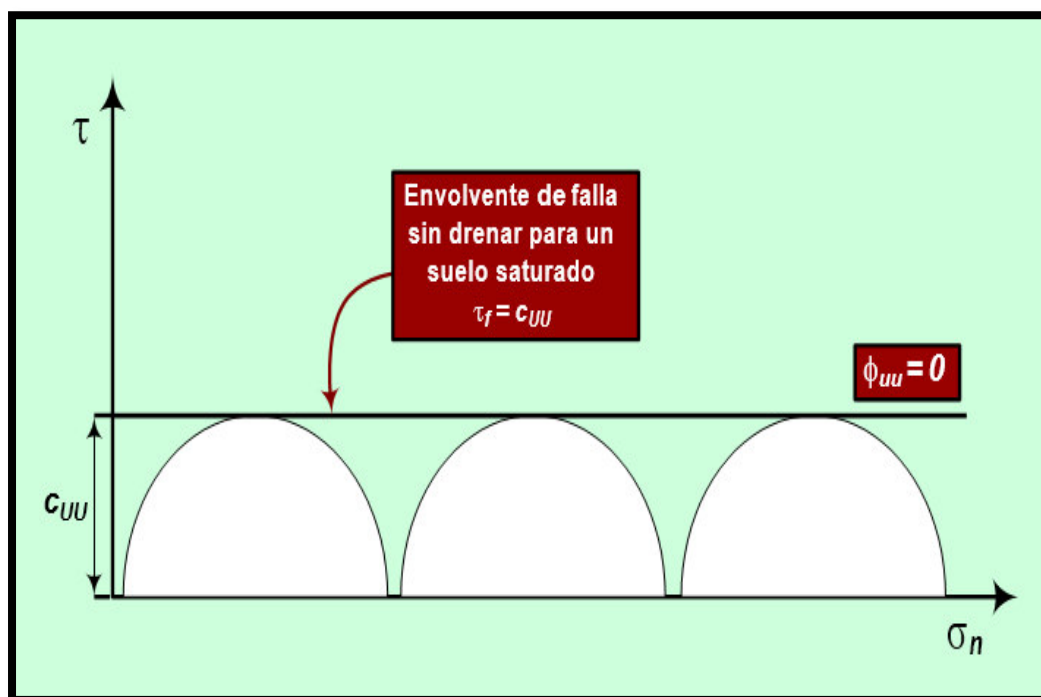
Está la oportunidad de que una grava quiebra en prueba de corte directo, su curva refuerzo, deformación tangencial es equivalente a cualquiera de ambas que se menciona a continuidad en la figura 12.

Figura N° 12. Comportamiento refuerzo cortante–deformación tangencial.



Fuente (Terzaghi, 1926)

Figura N° 13. Envolvente de falla en ensayo triaxial UU



Fuente (Tesis de Javier Esquivel, 2008)

Depende del estado de la densidad relativa del suelo granular, la curva que representa a una arena densa, el esfuerzo cortante se eleva a un punto máximo, seguidamente desciende rápidamente al aumentar la deformación tangencial; la curva que identifica a una arena suelta tiene la característica de que ocurre un aumento uniforme del esfuerzo cortante a medida que se incrementa la deformación tangencial, describiendo un comportamiento plástico. Ven Te Chow (1994).

2.13.2 Ensayo Triaxial no consolidado, no drenado (UU).

También es llamada o considerada como prueba rápida, y como su propio nombre lo indica, no está permitido la consolidación de la muestra de suelo y tampoco el drenado de la misma, los parámetros de resistencia serán obtenidos en función de esfuerzos totales y la envolvente de falla que se obtuvo en el ensayo será horizontal como se muestra en la Figura 13”.

$$\tau_f = c_{uu} + \sigma_n \tan \varphi_{uu} \dots \dots \dots (e)$$

Dónde:

C_{uu} = resistencia en situaciones no drenadas

σ_n = esfuerzo normal general

φ_{uu} = ángulo de fricción interna en condiciones no drenadas.

Y como $\varphi_{uu} = 0$ (ver Figura 13), la ecuación (e) de la siguiente fórmula:

$$\tau_f = C_{uu}$$

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de la cuenca Rímac

Tiene una extensión de 3036 km² en el cual se posiciona en nuestra costa central del Perú hacia el norte en el departamento de Lima, constituida entre las coordenadas geográficas 11°01' y 11°38' de latitud Sur y los Meridianos 76°25' y 76°15' de longitud Oeste, detalles a continuación:

| Coordenadas | Datum | Este | Norte | Altitud |
|-------------|------------|-----------|------------|---------|
| UTM | Horizontal | 324693.41 | 8686003.09 | 1003 |
| | WGS 1984 | 353665.34 | 8744740.62 | 5500 |

La unidad hidrográfica comparte sus límites con:

- Por el Norte : Cuenca Río Chillón.
- Por el Este : Cuenca Río Mantaro.
- Por el Sur : Cuenca Río Lurín.
- Por el Oeste : Océano Pacífico.

Políticamente se ubica en:

- Departamento : Lima

- Provincia : Lima y Huarochirí.
- Distritos : Huanza, Carampoma, Santa Eulalia, Lurigancho-Chosica, Chaclacayo, Ate Vitarte; Santa Anita, Rímac, San Martín de Porres, San Mateo, Matucana, Cocachacra, Ricardo Palma

Su propiedad habitual de la cuenca está relacionada con su estado hidrológico y son utilizadas para instituir relaciones que nos brinda un acercamiento del hábito de su régimen hidrológico

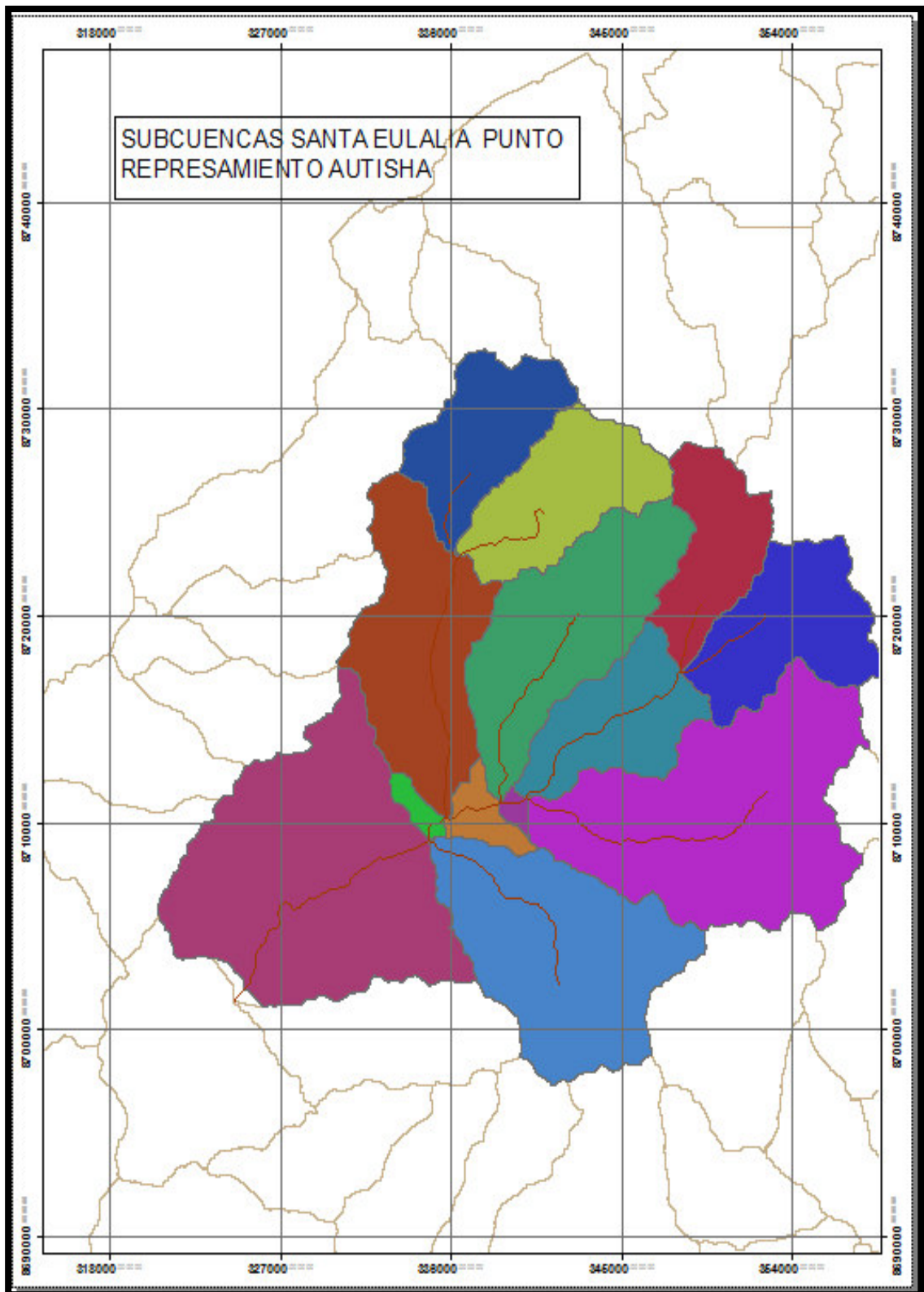
Tabla N° 3: Características fisiográficas de la cuenca Rímac.

| CUENCA SANTA EULALIA | VALOR | UNIDAD |
|---------------------------------|--------------|-----------------|
| Area | 3046 | km ² |
| Perímetro | 328 | km |
| Altitud media | 2727 | msnm |
| Altitud media | 48.8 | % |
| Factor de forma | 0.35 | |
| Coefficiente de compacidad | 1.66 | |
| Rectando equivalente lado mayor | 143 | km |
| Rectando equivalente lado menor | 21 | km |

Fuente: Elaborado a partir de datos de la ANA.

El estudio de evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca Rímac (ala Rímac, 2011) se definieron las subcuencas hidrológicas hasta la estación hidrométrica de Autisha.

Figura N° 14: Subcuencas Santa Eulalia Punto de Represamiento



Fuente: ALA Rímac 2011

Tabla N° 4: Características fisiográficas de las subcuencas.

| NOMBRE | Área Km ² | Perímetro Km | Altitud media m.s.n.m. | Pendiente media | Coefficiente de compacidad | Factor de forma |
|-----------------|----------------------|--------------|------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
| 1.Anasmayo | 158.50 | 55 | 3804 | 45 | 1.23 | 0.35 |
| 2.Medio Chancay | 183.40 | 62 | 3757 | 52 | | |
| 3.Baños | 261.70 | 81 | 4495 | 40 | 1.41 | 0.39 |
| 4.Coto | 109.30 | 50 | 4395 | 41 | 1.33 | 0.29 |
| 5.Santa Eulalia | 321.90 | 92 | 4471 | 41 | 1.43 | 0.50 |
| 6.Huataya | 80.90 | 49 | 3835 | 46 | 1.51 | 0.23 |
| 7.Orcon | 71.70 | 36 | 3316 | 46 | 1.19 | 0.44 |
| 8.Pallamayo | 26.20 | 21 | 3423 | 56 | 1.16 | 0.46 |
| 9.Lampian | 49.60 | 32 | 3621 | 50 | 1.27 | 0.32 |
| 10.Anchilon | 20.00 | 19 | 3036 | 58 | 1.20 | 0.39 |
| 11.Quiman | 134.80 | 58 | 4282 | 44 | 1.40 | 0.31 |
| 12.Carac** | 37.80 | 28 | 3040 | 59 | | |
| 13.Chillamayo | 65.10 | 40 | 4414 | 36 | 1.39 | 0.30 |

Fuente: ALA Rímac 2011

Las trece subcuencas del cuadro mencionado se añadieron a la Subcuenca vertiente al cese Autisha el cual cuenta con las características a mención:

Tabla N° 5: Características de la cuenca vertiente al vaso Autisha

| NOMBRE | Área Km ² | Perímetro Km | Altitud m.s.n.m. | Pendiente | Coefficiente compacidad | Factor deforma |
|------------|----------------------|--------------|------------------|-----------|-------------------------|----------------|
| 14.Autisha | 27.97 | 34.89 | 4703.86 | 41 | 1.22 | 0.41 |

Fuente: ALA Rímac 2011

3.2. Características climáticas de la cuenca Rímac

La Cuenca Rímac mantiene una regular densidad de estaciones pluviométricas, sin embargo la cantidad de estaciones climatológicas es deficiente, al mismo tiempo presentan periodos de registros cortos e incompletos.

Al despuntar esta carencia de investigación, se analizó fuentes alternas, y distintas variables hidrológicas en sitios donde no carecen de estados climáticas in situ (Ponce, VM. 1989. Engineering Hydrology: Principles and Practices) Para las características climatológicas como la temperatura media, máxima, mínima, humedad relativa, velocidad del viento y evapotranspiración; la investigación usada corresponde a secuencias anuales de diseños climáticos mundiales realizados por el Climatic Research Unid (CRU).

En la cuenca, se han delimitado 14 subcuencas, la caracterización para cada variable climática se realizó usando una plataforma GIS, utilizando el método de interpolación kriging para todo el ámbito de la cuenca, para luego calcular el valor medio de la variable climática para cada Subcuenca.

3.2.1 Temperatura

En el ámbito de la Rímac, el modelo climatológico tiene registro para el periodo 1960-1990, estos han servido para determinar la variabilidad de temperatura en toda la cuenca.

Tabla N° 6: Variación de la temperatura media mensual

| Temperatura media C° | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| SUBCUENCA | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Media |
| Anasmayo | 8.6 | 8.5 | 8.5 | 8 | 7.5 | 6.7 | 6.2 | 6.5 | 7 | 7.7 | 7.9 | 8.2 | 7.6 |
| Madio Chancay | 8.2 | 8.1 | 8.1 | 7.6 | 7.2 | 6.4 | 5.9 | 6.3 | 6.8 | 7.5 | 7.7 | 7.9 | 7.3 |
| Baños | 4.5 | 4.3 | 4.4 | 4 | 3.7 | 3.1 | 2.6 | 2.9 | 3.3 | 4 | 4.1 | 4.3 | 3.8 |
| Coto | 7.4 | 7.3 | 7.3 | 6.9 | 6.6 | 5.8 | 5.3 | 5.7 | 6.2 | 6.8 | 7 | 7.3 | 6.6 |
| Santa Eulalia | 6.3 | 6.1 | 6.2 | 5.8 | 5.5 | 4.8 | 4.3 | 4.6 | 5.1 | 5.8 | 5.9 | 6.1 | 5.5 |
| Huataya | 10 | 10 | 10 | 9.6 | 9 | 8.2 | 7.6 | 7.9 | 8.5 | 9.1 | 9.5 | 9.8 | 9.1 |
| Orcon | 11 | 11 | 11 | 10 | 9.6 | 8.6 | 8.1 | 8.3 | 8.9 | 9.6 | 9.9 | 10 | 9.7 |
| Pallacamy | 10 | 10 | 10 | 9.5 | 9.1 | 8.1 | 7.6 | 8 | 8.5 | 9.2 | 9.5 | 9.8 | 9.1 |
| Lampian | 11 | 11 | 11 | 10 | 9.5 | 8.6 | 8 | 8.4 | 8.9 | 9.6 | 9.9 | 10 | 9.6 |
| Anchillon | 13 | 13 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9.7 | 10 | 11 | 11 | 12 | 12 | 11.3 |
| Quiman | 7.8 | 7.7 | 7.7 | 7.3 | 6.9 | 6.2 | 5.7 | 6 | 6.5 | 7.1 | 7.4 | 7.6 | 7 |

Fuente: ALA Rímac, 2011

3.2.2 Humedad relativa

En la cuenca Rímac se registra un periodo de 30 años de 1960-1990

Tabla N° 7: Variación de la humedad relativa (%)

| Humedad relativa media % | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SUBCUENCA | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| Anasmayo | 76 | 75.9 | 77.4 | 72.6 | 67.2 | 62.1 | 59.5 | 61.8 | 66.7 | 69.1 | 68.4 | 71.7 |
| Madio Chancay | 75.8 | 76 | 77.7 | 72.5 | 66.9 | 61.8 | 59 | 61.2 | 66.2 | 68.7 | 68.1 | 71.4 |
| Baños | 77.3 | 76.9 | 78.5 | 72.7 | 66.8 | 60.9 | 57.4 | 60.4 | 66.3 | 68.2 | 68.4 | 71.9 |
| Coto | 76.1 | 76.5 | 77.7 | 72.8 | 66.9 | 61.8 | 58.8 | 60.8 | 66.2 | 68.6 | 68.1 | 71.4 |
| Santa Eulalia | 76.4 | 76.7 | 77.9 | 72.8 | 66.7 | 61.3 | 58 | 60.2 | 65.9 | 68.3 | 68 | 71.3 |
| Huataya | 76.3 | 76.7 | 77.9 | 73.8 | 68.8 | 64.3 | 62 | 63.5 | 68.2 | 70.3 | 69.5 | 72.4 |
| Orcon | 76.3 | 76.2 | 77.7 | 73.5 | 68.8 | 64.5 | 62.4 | 64.3 | 68.5 | 70.6 | 69.7 | 72.6 |
| Pallacamy | 75.8 | 75.9 | 77.3 | 73 | 67.8 | 63.3 | 61 | 62.8 | 67.3 | 69.7 | 68.8 | 71.9 |
| Lampian | 75.9 | 76.4 | 77.6 | 73.6 | 68.5 | 64.1 | 61.9 | 63.4 | 67.9 | 72 | 69.2 | 72.2 |
| Anchillon | 76.1 | 76.5 | 77.8 | 74.2 | 69.7 | 65.8 | 64.1 | 65.3 | 69.2 | 71.3 | 70.1 | 72.9 |
| Quiman | 76.1 | 76.6 | 77.8 | 73.1 | 67.3 | 62.2 | 59.3 | 61.1 | 66.5 | 68.9 | 68.4 | 71.6 |
| Carac | 75.6 | 76.1 | 77.3 | 73 | 67.7 | 63.1 | 60.7 | 62.3 | 67 | 69.5 | 68.6 | 71.7 |
| Chillamayo | 76.8 | 76.5 | 78 | 72.5 | 66.7 | 61.1 | 57.9 | 60.7 | 66.2 | 68.4 | 68.2 | 71.7 |

Fuente: ALA Rímac, 2011

3.2.3 Velocidad del viento

La fuente consultada presenta un registro desde 1960-1990, la cual fue usada para ver el comportamiento de esta variable en la cuenca.

Tabla N° 8: Velocidad del viento

| Velocidad media del viento m/s | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SUBCUENCA | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| Anasmayo | 2.7 | 2.6 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 2.8 | 2.9 | 2.9 | 3 |
| Madio Chancay | 2.7 | 2.6 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.6 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 3 |
| Baños | 2.8 | 2.7 | 2.8 | 2.6 | 2.5 | 2.6 | 2.8 | 3 | 2.9 | 2.9 | 3 | 3.1 |
| Coto | 2.7 | 2.6 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.7 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 3 |
| Santa Eulalia | 2.7 | 2.6 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 3 |
| Huataya | 2.6 | 2.5 | 2.6 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.9 |
| Orcon | 2.7 | 2.5 | 2.6 | 2.4 | 2.5 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.9 |
| Pallacamy | 2.6 | 2.5 | 2.6 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.9 |
| Lampian | 2.6 | 2.4 | 2.6 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.5 | 2.7 | 2.7 | 2.8 | 2.8 | 2.9 |

Fuente: ALA Rímac, 2011

3.2.4 Evapotranspiración potencial

Esta variable ha sido calculada por el método de Penman, la información consultada presenta datos para las subcuencas de la Cuenca Rímac.

Tabla N° 9: Evapotranspiración potencial a nivel mensual

| Evapotranspiración Potencial mm / mes | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SUBCUENCA | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| Anasmayo | 114.9 | 102.6 | 106.5 | 94.9 | 89.2 | 81.6 | 87.2 | 95.8 | 100.6 | 112.5 | 113.2 | 115.7 |
| Madio Chancay | 113.1 | 100.9 | 104.8 | 93.5 | 88.5 | 80.9 | 86.3 | 95.4 | 100.3 | 112.1 | 112.6 | 114.4 |
| Baños | 94.7 | 84.6 | 87.5 | 79.2 | 75.9 | 70.9 | 76.3 | 83 | 86 | 96.5 | 95.5 | 97 |
| Coto | 109.2 | 97.3 | 101.3 | 90.8 | 86.6 | 79.1 | 84.8 | 93.5 | 97.9 | 109 | 109.4 | 111.6 |
| Santa Eulalia | 104.2 | 92.6 | 96.7 | 86.9 | 82.9 | 76.2 | 81.9 | 89.8 | 93.6 | 104.6 | 104.4 | 106.2 |
| Huataya | 122 | 108.7 | 113.2 | 100.3 | 93.5 | 84.9 | 90.3 | 100 | 105.8 | 118 | 119.5 | 122.5 |
| Orcon | 124.7 | 112.5 | 116.4 | 102.5 | 95.5 | 85.7 | 91.4 | 100.6 | 107 | 120 | 121.4 | 125 |
| Pallacamy | 122.6 | 109.4 | 113.7 | 100.4 | 94.4 | 85.1 | 90.9 | 100.8 | 106.4 | 119 | 120.3 | 123.2 |
| Lampian | 124.3 | 113 | 115.2 | 101.9 | 95.5 | 86.4 | 91.5 | 101.9 | 107.7 | 120.4 | 121.7 | 124.7 |
| Anchillon | 133.3 | 119.8 | 124.1 | 108.8 | 100.5 | 90.1 | 95.8 | 106.4 | 113.7 | 127 | 129.4 | 132.9 |
| Quiman | 111 | 98.8 | 102.9 | 92.1 | 87.4 | 80.2 | 85.9 | 94.4 | 98.9 | 110.1 | 110.9 | 112.7 |
| Carac | 121.3 | 108.4 | 112.9 | 99.7 | 93.9 | 85.1 | 90.9 | 101 | 106.3 | 118.7 | 119.9 | 122.3 |
| Chillamayo | 101.9 | 90.9 | 95 | 85 | 80.9 | 74.8 | 79.9 | 87.4 | 91.3 | 102.3 | 102.2 | 103.5 |

Fuente: ALA Rímac, 2011

3.3 Análisis y tratamiento de la información pluviométrica

Las fases hidrológicas conforman el inicio para los análisis hidrológicos fundamentalmente en la verificación y diseños de las estructuras hidráulicas, no obstante su flexibilidad de la información y la falla de uniformidad generan errores relevantes en los resultados. Tal flexibilidad y no uniformidad se ve con la disposición de saltos y tendencias en el ciclo hidrológico comprometiendo el resultado estadístico como la media y la desviación estándar. Maidment, Dr. Cedex. (1993).

Uno de los problemas de las fases es la información ausente y esto se debe a distintos motivos, por ejemplo los desperfectos del dispositivo de control, padecimiento o reemplazo del delegado, por interrupciones obligado a carencias presupuestales. En consecuencia las informaciones ausentes son estimadas en base a nóminas cercanas. El incremento de información mediante registro es utilizado en los diseños de estas obras hidráulicas con datos de mediana permanencia.

En el capítulo se desarrollará los métodos usados en el análisis y tratamientos de datos pluviométricos.

3.3.1 Información disponible

La información pluviométrica en todo el país es colectada en gran parte por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) disponible en la misma institución y disponible en la plataforma virtual del ANA, el problema que la mayor parte de la información se encuentra en crudo, siendo necesario un procesamiento previo antes de ser usadas en los estudios. Para el presente trabajo se usó los datos a nivel mensual de la red de estaciones del SENAMHI ubicadas dentro de la cuenca Rímac y estaciones de cuencas aledañas con un periodo de registro de 1964 a 2009.

Tabla N° 10: Estaciones pluviométricas de la Cuenca Rímac

| Estaciones Pluviométricas - Cuenca Rímac | | | | | | | | | |
|---|-------------|---------------|----------------|--------------|------------------|-----------------|-------------|--------------|----------------|
| Código | Cat. | Nombre | Entidad | Dpto. | Provincia | Distrito | Lat. | Long. | Altitud |
| 539 | CO | Casapalca | Senamhi | Lima | Huarocharí | Chicla | 11.45 | 77.1 | 3500 |
| 155202 | PLU | Rio Blanco | Senamhi | Lima | Huarocharí | Chicla | 11.35 | 76.6 | 3700 |
| 155203 | PLU | Matucana | Senamhi | Lima | Huarocharí | Matucana | 11.18 | 76.8 | 2600 |
| 155205 | PLU | Canchacaya | Senamhi | Lima | Huarocharí | Santa Eulalia | 11.35 | 76.8 | 2333 |
| 155214 | PLU | Autisha | Senamhi | Lima | Huarocharí | Santa Eulalia | 11.23 | 76.7 | 3332 |

Fuente: Senamhi

Tabla N° 11: Estaciones pluviométricas de la Cuenca del Río Chillón

| Estaciones Pluviométricas - Cuenca Rio Chillón | | | | | | | | | |
|---|------|-------------|---------|-------|-----------|-------------|-------|-------|---------|
| Código | Cat. | Nombre | Entidad | Dpto. | Provincia | Distrito | Lat. | Long. | Altitud |
| 155209 | PLU | Huamantanga | Senamhi | Lima | Canta | Huamantanga | 11.50 | 76.75 | 3392 |
| 155218 | PLU | Huaros | Senamhi | Lima | Canta | Huaros | 11.40 | 76.57 | 3585 |
| 155112 | PLU | Pariacancha | Senamhi | Lima | Canta | Huaros | 11.03 | 76.50 | 3800 |

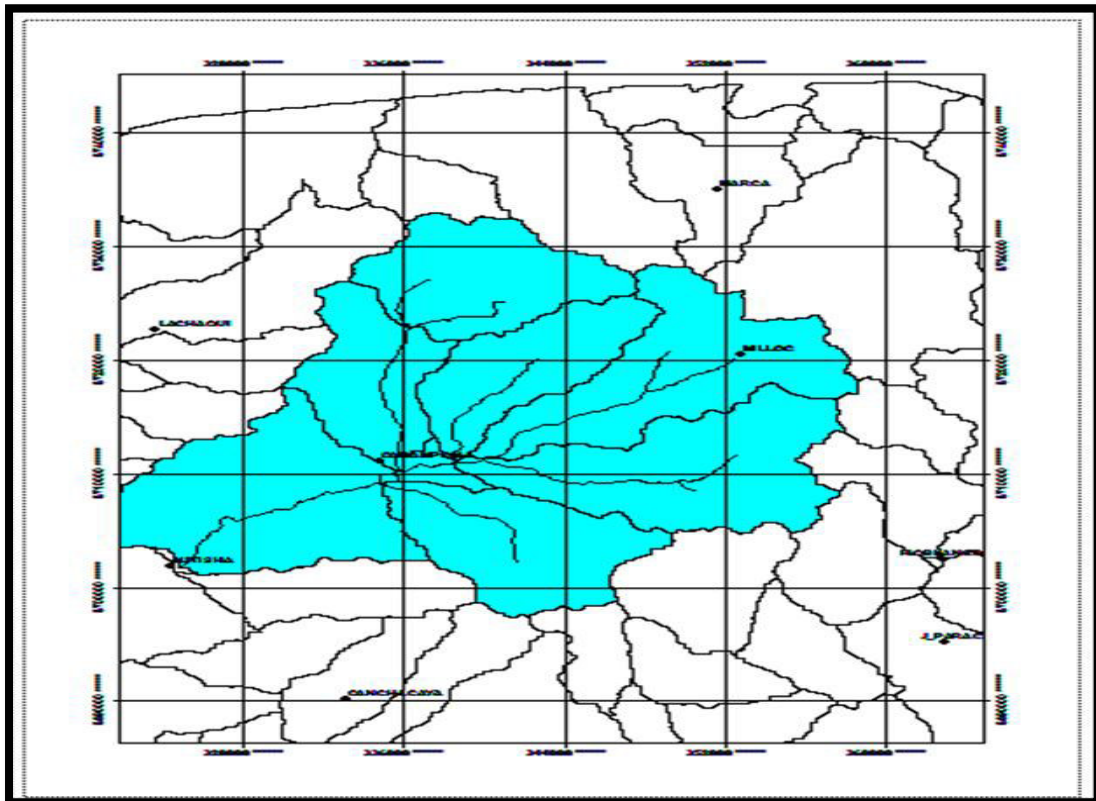
Fuente: Senamhi

Tabla N° 12: Estaciones pluviométricas de la Cuenca del Río Mantaro

| Estaciones Pluviométricas - Cuenca Rio Mantaro | | | | | | | | | |
|---|------|--------------|---------|-------|-----------|------------------------|-------|-------|---------|
| Código | Cat. | Nombre | Entidad | Dpto. | Provincia | Distrito | Lat. | Long. | Altitud |
| 155114 | PLU | Rio Pallanga | Senamhi | Junín | Yauli | Sta. B. de Carhuacayan | 11.15 | 76.45 | 4633 |
| 155121 | CO | Huaros | Senamhi | Junín | Yauli | Marcapomacocha | 11.33 | 76.40 | 4600 |

Fuente: Senamhi

Figura N° 15: Ubicación de estaciones pluviométricas



Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Análisis gráfico

Se Tiene como finalidad la comprobación de tendencias y cambios en la serie de tiempo por medio visual.

Se considera como un análisis primario antes de usar un análisis cuantitativo para confirmarlo. Comprende en indicar y emplear gráficos de progresión en intervalos entre la relación tiempo definido junto a sus masas.

a) Gráfico progresivo en tiempos

Presenta cronológicamente los datos en las ordenadas y el tiempo en las abscisas, en los cuales se pueden distinguir las tendencias y cambios.

b) Comparación la masa doble

Fundamentarse la medición sucesiva de la aplicación teniendo una cadena principal demostrando la negatividad e inconveniente en su uniformidad, predisposición o variación. Para cumplir la diferencia se representó en el centro de las abscisas las estimaciones reunidas principal y en el centro de las ordenadas las estimaciones reunidas de la frecuencia en la tesis. Si la sucesión en la tesis no tiene variación, la representación obliga a conservar la analogía definitiva de conformidad en medio de los ambos periodos, si la ocurrencia al inverso se examina quebrantamientos de pendiente, se considera ultimar el aspecto de trazos irregulares.

En el probable quebrantamientos del segmento examinado (variación de inclinación en la recta), el ente obligatorio se adaptar procedimientos demográfico que corroborar viables defectos posibles. Acaba de consumir la investigación la masa doble donde se determinaron los periodos de las estaciones: Rio Blanco, Casapalca, Matucana, Autisha, Sheque, Carampoma, Milloc.

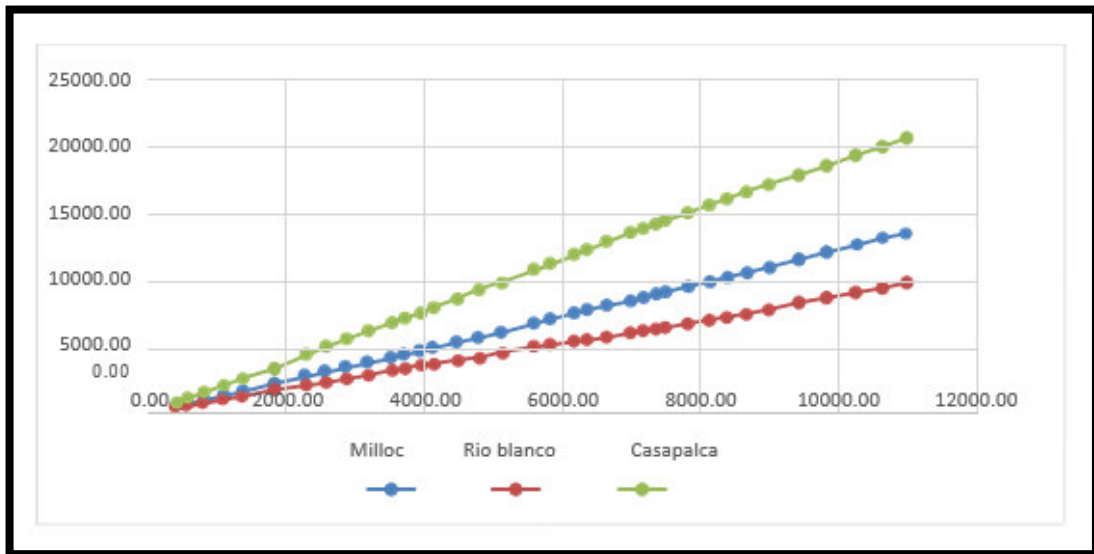
Para una apropiada investigación, determino la unión de conjuntos considerando el acatamiento de la proximidad interiormente proporcionado de sus cuencas, semejanza pluviosidad, altitudinal y ciclo de exploración presente, precisamente se dispone la correlación:

Conjunto 1: Volumen Doble, estación Río Blanco, Casapalca, Milloc.

Conjunto 2: Volumen Doble, estación Autisha, Sheque, Carampoma.

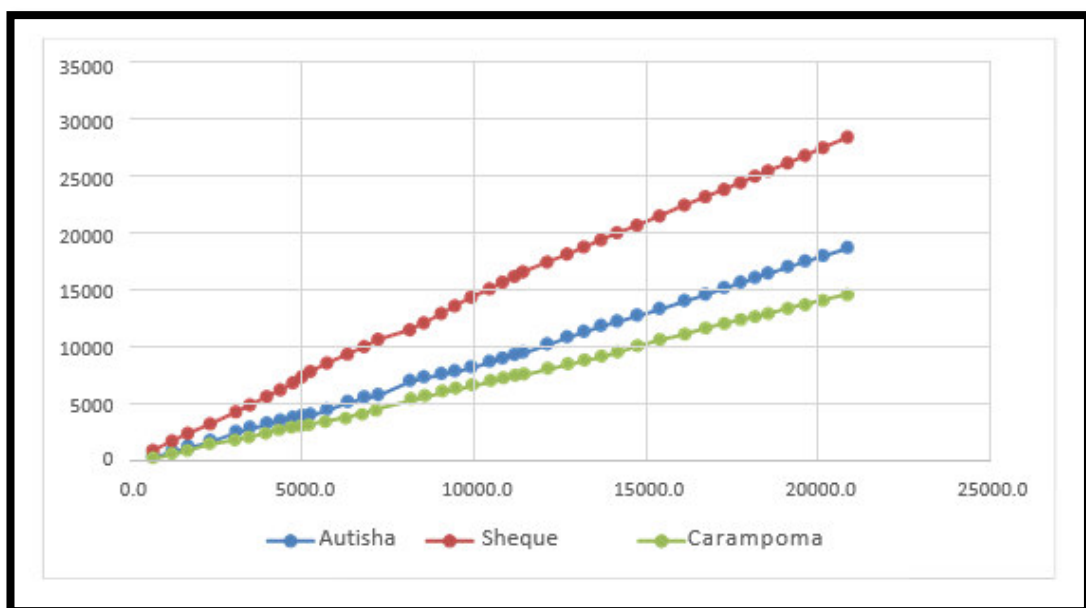
En la Figura 16 y 17 se presenta las variaciones volumen doble de las sucesiones analizadas.

Figura N° 16: Doble masa, estaciones pluviométricas (conjunto 1).



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17: Doble masa, estaciones pluviométricas (conjunto 2).



Fuente: Elaboración Propia

3.3.3 Análisis estadístico

Fundamentalmente se emplea métodos de registros, si en la conclusión de comprobar en efecto la secuencia no muestra directriz y si analógico, que forma hipótesis requeridas que se utiliza a través de secuencias en gráficos y representaciones. Esta investigación es adapta rápidamente para reconocer el ciclo de viabilidad para verificación de antecedentes intervenciones de la observación del dibujo representativo.

Varianza en la media

Igualar cambios en la varianza y en la mitad son progresos primordialmente como ejemplo de establecer la sucesión realiza uniformidad o lo contrario. Lo constituido no es significativo donde los términos limitados demográfico modificado, y si es necesario obtenido a principios natos u ocasionados por el hombre. Se sugiere inventar un test de permanencia para estabilidad de varianza.

Test F

Es una prueba paramétrica que relaciona la varianza de dos grupos de información que resultan de dividir la serie hidrometeoro lógica en dos partes iguales. Se conoce como distribución F o Fisher de la relación entre varianzas de muestras que vienen de una distribución normal; el test F dará una buena estimación de la estabilidad de la varianza.

$$F1 = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2} = \frac{S_1^2}{S_1^2}$$

En el cual s^2 reemplaza la varianza de todos subgrupos y se determina con la siguiente manifestación:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

En el cual x_i expresa la investigación y n son los dígitos de resultados de informaciones de antecedentes en el modelo.

A través de una suposición abolida de prueba es, $H_0: s_1^2 = s_2^2$ (equivalencia de probabilidad), y una suposición de reemplazo, $H_a: s_1^2 <> s_2^2$. El experimento se contradice aceptando la demografía apreciada se localiza en la lista de rebote, concluye una altura de representación α .

En el cual n_1 y n_2 forma el conjunto de antecedentes de unidad es individual de los subgrupos, ya sean $n(1-1, 2-1)$ direccionan niveles liberados para la repartición.

Estabilidad de media

Mediante el ensayo de importancia "T" al examinar los títulos promedios es demográficamente equivalente o distinto.

Test T

Donde un ensayo paramétrico que interviene la deducción y su asimilación de las mitades de ambos subgrupos de una sucesión gradual (el mismo subgrupo se usó de establecer la duración de la probabilidad con la prueba - F). Una suposición invalida es $t_t: x_1 = x_2$; y la suposición electiva es, $t_t: x_1$ puede ser mayor o menor que x_2 . El demográfico se determina las sucesivas en las especificaciones:

$$t_t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

En el cual n_1 y n_2 forma las cantidades de antecedentes de ambas coordinaciones subgrupos, x sustituye la mitad de todo subgrupo y S_2 su probabilidad. La tesis exige que las probabilidades de ente son representativo distinto. El ensayo no asimila que t_t está entre la sucesiva zona de rebote para una cota de valor: α .

Corrección de datos

En el caso de las restricciones de la mitad y el resultado de la desviación en efecto demográficamente idéntico o similar, una investigación nueva no subsana por ser seguro del 95% la posibilidad, incluso donde en el esquema grafico masa doble se examina pequeños quiebres. El resultado demográficamente son distintos, definitivamente se produce a modificar investigación. Prontamente se observar los antecedes con los procedimientos precedentemente puntualizado en la alteración de estos y no fuese obligatorio.

3.3.4 Competición y expansión de informaciones pluviométricas

Las series hidrológicas para formar en relacionar antecedentes con carecidos o tiempos de inscripción estrechamente pequeño, donde autentifica distintas técnicas que finalizan con el resultado, pero se requiere de antecedentes con uniformidad examinada.

Concluida la investigación sólida la explicación verdadera, se continuó a la emulación de antecedentes incompletos e incremento de los inspecciones de tiempo frecuente 1964- 2009, perteneciente al tiempo de 46 años.

Método del promedio aritmético

Fundamentalmente es estimar la mitad de la aritmética simple de títulos perteneciente al período deficientes totales de las estaciones con

inscripciones enteras para evaluar la información fijo mensual o anual incompleto, es incluido para títulos anual o mensual. El actual análisis es adaptado para la finalizar antecedentes precisos en la secuencia mensual.

$$P_x = \frac{\sum P_i}{n}$$

En el cual:

P_x : Precipitaciones mensuales fijo incompleto en mm.

P_i : Precipitaciones mensuales del intervalo de tiempo en mm.

n : Cantidad de estaciones con antecedentes definidos finalizado.

3.4 Recopilación de datos hidrométricos.

La frecuencia hidrométrica tiene una cota de 697 msnm y esta aproximadamente en la ubicación en la zona baja de la cuenca, al principio de inicio en el valle agrícola, posee un extenso estimado tiempo de investigación, con una finalidad de la actual teoría se usó este ciclo de tiempo determinado 1964-2009.

Tabla N° 13. Estación hidrométrica Autisha

| Estación hidrométrica Autisha | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------------------|-------------|---------------|----------------------|-------|---------|
| Nombre | Cuenca | Ubicación Política | | | Ubicación Geográfica | | |
| Autisha | Rímac | Dpto. | Provincia | Distrito | Lat. | Long. | Altitud |
| | | Lima | Huachochirí | Santa Eulalia | 11.38 | 77.05 | 697 |

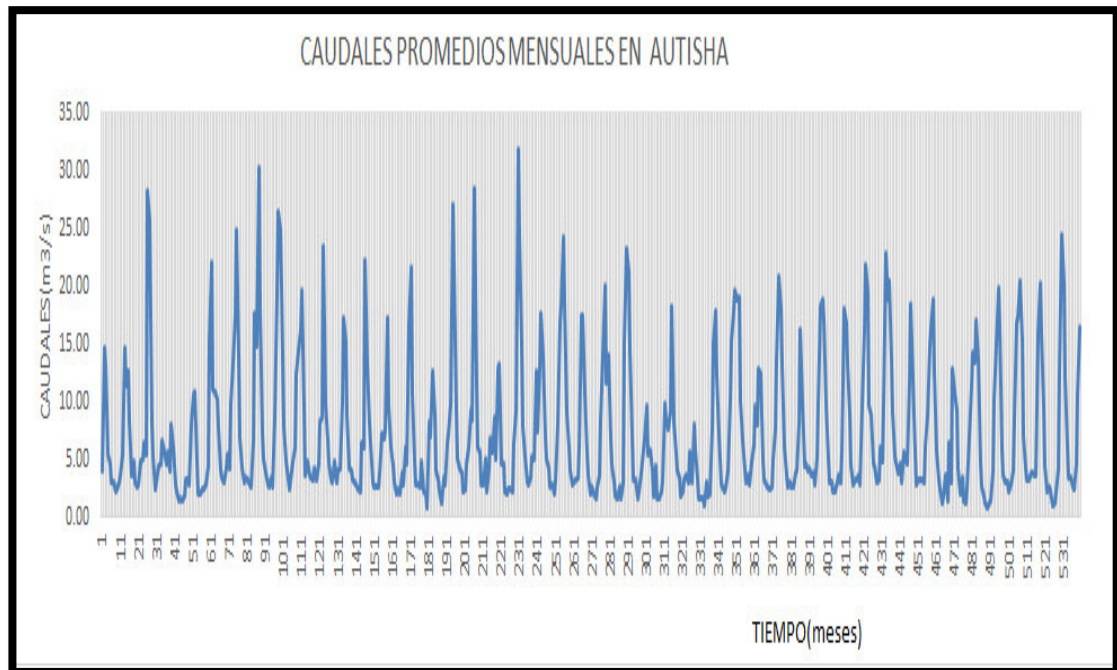
Fuente: Senamhi

Tabla N° 14. Serie de caudales aforados, Estación Autisha

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Prom. Anual |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------------|
| 1965 | 4.12 | 14.74 | 13.02 | 5.49 | 4.64 | 3.13 | 3.13 | 2.27 | 2.34 | 2.96 | 3.54 | 5.46 | 5.40 |
| 1966 | 14.71 | 11.39 | 12.65 | 8.32 | 3.72 | 4.79 | 3.02 | 2.70 | 2.77 | 4.78 | 5.07 | 6.38 | 6.69 |
| 1967 | 5.40 | 28.24 | 25.60 | 8.27 | 5.20 | 2.52 | 3.87 | 4.43 | 4.62 | 6.72 | 5.67 | 4.67 | 8.77 |
| 1968 | 5.64 | 3.98 | 8.05 | 5.99 | 2.78 | 2.28 | 1.46 | 1.68 | 1.53 | 1.78 | 3.25 | 3.29 | 3.48 |
| 1969 | 2.79 | 8.32 | 10.56 | 10.92 | 4.72 | 2.04 | 2.11 | 2.52 | 2.46 | 2.79 | 4.41 | 15.20 | 5.74 |
| 1970 | 22.14 | 10.99 | 10.76 | 10.31 | 7.66 | 4.13 | 3.48 | 2.97 | 4.33 | 5.45 | 4.17 | 9.92 | 8.03 |
| 1971 | 13.45 | 17.70 | 24.87 | 13.90 | 6.86 | 4.14 | 3.08 | 3.44 | 3.28 | 2.82 | 2.66 | 6.62 | 8.57 |
| 1972 | 17.75 | 14.80 | 30.27 | 18.07 | 7.29 | 5.07 | 3.89 | 2.78 | 2.71 | 3.42 | 2.67 | 8.78 | 9.79 |
| 1973 | 19.39 | 26.50 | 24.82 | 19.87 | 7.82 | 4.82 | 3.97 | 2.50 | 4.02 | 4.85 | 6.12 | 12.43 | 11.43 |
| 1974 | 14.49 | 16.19 | 19.59 | 9.29 | 3.68 | 4.74 | 3.62 | 3.45 | 3.15 | 4.29 | 3.19 | 4.57 | 7.52 |
| 1975 | 8.30 | 8.69 | 23.38 | 9.91 | 6.66 | 4.54 | 3.27 | 3.11 | 4.88 | 2.94 | 4.01 | 4.18 | 6.99 |
| 1976 | 10.03 | 17.31 | 15.34 | 8.78 | 4.14 | 3.99 | 3.15 | 3.03 | 2.85 | 2.41 | 2.24 | 6.42 | 6.64 |
| 1977 | 5.99 | 22.19 | 13.34 | 7.98 | 6.26 | 2.95 | 2.71 | 2.68 | 2.68 | 3.78 | 7.25 | 6.91 | 7.08 |
| 1978 | 7.68 | 17.22 | 9.60 | 6.08 | 4.37 | 3.09 | 2.09 | 2.38 | 1.97 | 3.77 | 2.92 | 5.98 | 5.60 |
| 1979 | 4.56 | 16.72 | 21.66 | 10.57 | 4.86 | 2.77 | 2.80 | 2.63 | 4.75 | 2.25 | 2.01 | 0.92 | 6.38 |
| 1980 | 8.28 | 6.96 | 12.73 | 8.83 | 4.09 | 3.30 | 2.20 | 1.26 | 3.49 | 2.83 | 6.37 | 7.28 | 5.64 |
| 1981 | 9.88 | 27.12 | 21.39 | 9.23 | 4.99 | 4.29 | 3.81 | 2.30 | 2.42 | 4.67 | 6.11 | 9.18 | 8.78 |
| 1982 | 8.35 | 28.38 | 11.46 | 5.99 | 5.62 | 2.82 | 2.86 | 5.12 | 2.33 | 4.26 | 6.88 | 5.62 | 7.47 |
| 1983 | 8.72 | 5.04 | 12.89 | 13.18 | 4.62 | 4.55 | 2.28 | 2.07 | 2.48 | 2.34 | 2.16 | 6.49 | 5.57 |
| 1984 | 9.23 | 31.91 | 24.33 | 14.81 | 7.75 | 5.16 | 3.12 | 2.79 | 3.39 | 5.15 | 4.94 | 12.62 | 10.43 |
| 1985 | 7.51 | 12.98 | 17.58 | 13.92 | 6.83 | 5.09 | 4.27 | 2.63 | 2.92 | 2.00 | 3.30 | 8.15 | 7.27 |
| 1986 | 16.90 | 18.46 | 24.25 | 18.38 | 9.05 | 5.96 | 4.07 | 2.91 | 3.08 | 3.17 | 3.40 | 6.19 | 9.65 |
| 1987 | 17.44 | 17.54 | 10.68 | 5.50 | 3.55 | 2.12 | 2.61 | 2.06 | 1.60 | 2.72 | 3.57 | 8.38 | 6.48 |
| 1988 | 14.20 | 20.04 | 11.64 | 14.14 | 6.61 | 4.49 | 2.94 | 1.79 | 1.71 | 2.66 | 1.70 | 3.08 | 7.08 |
| 1989 | 15.16 | 23.33 | 21.29 | 14.53 | 6.87 | 3.31 | 3.30 | 1.71 | 2.26 | 3.89 | 4.81 | 6.82 | 8.94 |
| 1990 | 9.64 | 5.43 | 5.91 | 4.11 | 1.78 | 4.36 | 1.54 | 1.71 | 2.22 | 3.16 | 9.86 | 8.53 | 4.85 |
| 1991 | 7.61 | 9.33 | 18.27 | 8.27 | 6.90 | 3.95 | 3.46 | 1.88 | 2.15 | 3.30 | 3.57 | 3.03 | 5.98 |
| 1992 | 5.68 | 2.94 | 8.10 | 5.87 | 3.27 | 1.71 | 1.72 | 1.72 | 1.07 | 3.11 | 1.87 | 1.98 | 3.25 |
| 1993 | 7.78 | 15.04 | 17.82 | 12.19 | 7.07 | 2.91 | 2.64 | 2.19 | 2.60 | 4.12 | 10.21 | 15.28 | 8.32 |
| 1994 | 17.92 | 19.70 | 18.79 | 19.04 | 10.14 | 6.65 | 4.00 | 3.00 | 3.58 | 2.86 | 4.86 | 6.15 | 9.72 |
| 1995 | 9.67 | 8.09 | 12.89 | 12.40 | 4.87 | 3.17 | 2.75 | 2.60 | 2.46 | 2.55 | 5.04 | 7.64 | 6.18 |
| 1996 | 13.64 | 20.82 | 18.04 | 13.05 | 6.10 | 3.62 | 2.69 | 3.07 | 2.65 | 2.67 | 3.84 | 3.94 | 7.84 |
| 1997 | 8.22 | 16.25 | 9.94 | 4.50 | 4.57 | 4.12 | 4.14 | 3.70 | 3.79 | 2.76 | 5.27 | 9.87 | 6.43 |
| 1998 | 18.19 | 18.81 | 16.99 | 9.60 | 4.98 | 3.01 | 3.00 | 2.25 | 2.30 | 3.03 | 3.55 | 3.13 | 7.40 |
| 1999 | 5.74 | 17.98 | 16.85 | 13.32 | 8.82 | 4.37 | 2.83 | 3.18 | 3.26 | 3.56 | 2.83 | 9.91 | 7.72 |
| 2000 | 16.28 | 21.87 | 19.46 | 9.68 | 8.82 | 4.67 | 4.48 | 3.00 | 3.26 | 5.96 | 4.90 | 9.75 | 9.34 |
| 2001 | 22.89 | 18.92 | 20.52 | 13.48 | 9.09 | 5.15 | 4.24 | 3.93 | 4.58 | 2.95 | 5.61 | 4.81 | 9.68 |
| 2002 | 4.67 | 12.10 | 18.56 | 11.83 | 5.50 | 2.88 | 3.18 | 3.31 | 3.19 | 3.05 | 6.23 | 8.87 | 6.95 |
| 2003 | 14.91 | 16.40 | 18.83 | 12.52 | 5.61 | 3.19 | 2.53 | 1.33 | 1.91 | 3.71 | 1.48 | 6.41 | 7.40 |
| 2004 | 3.08 | 12.83 | 10.89 | 9.34 | 4.15 | 1.97 | 3.40 | 1.41 | 1.24 | 2.59 | 7.03 | 11.41 | 5.78 |
| 2005 | 14.22 | 13.40 | 17.14 | 13.75 | 4.57 | 2.59 | 1.93 | 1.17 | 0.89 | 1.31 | 1.41 | 4.12 | 6.38 |
| 2006 | 10.34 | 15.07 | 19.94 | 16.43 | 5.85 | 3.60 | 2.99 | 2.95 | 2.23 | 2.82 | 4.13 | 8.63 | 7.92 |
| 2007 | 16.76 | 17.35 | 20.44 | 15.26 | 7.06 | 4.31 | 3.20 | 3.17 | 3.82 | 3.93 | 3.63 | 3.60 | 8.54 |
| 2008 | 15.91 | 20.29 | 15.86 | 9.46 | 4.40 | 2.24 | 2.66 | 2.27 | 1.04 | 1.25 | 2.27 | 4.15 | 6.82 |
| 2009 | 12.79 | 24.38 | 20.33 | 12.07 | 5.98 | 3.43 | 3.36 | 2.55 | 2.52 | 4.64 | 10.69 | 16.46 | 9.93 |

Fuente: Senamhi

Figura N° 18: Caudal promedio mensual, estación Autisha.



Fuente: Elaboración propia

3.5. Construcción del modelo en WEAP

Para el presente trabajo se eligió la plataforma WEAP para realizar modelamiento Hidrológico de la cuenca Rímac y obtener la oferta hídrica en el punto de interés (Vaso Autisha), llevando a cabo una simulación de las condiciones históricas.

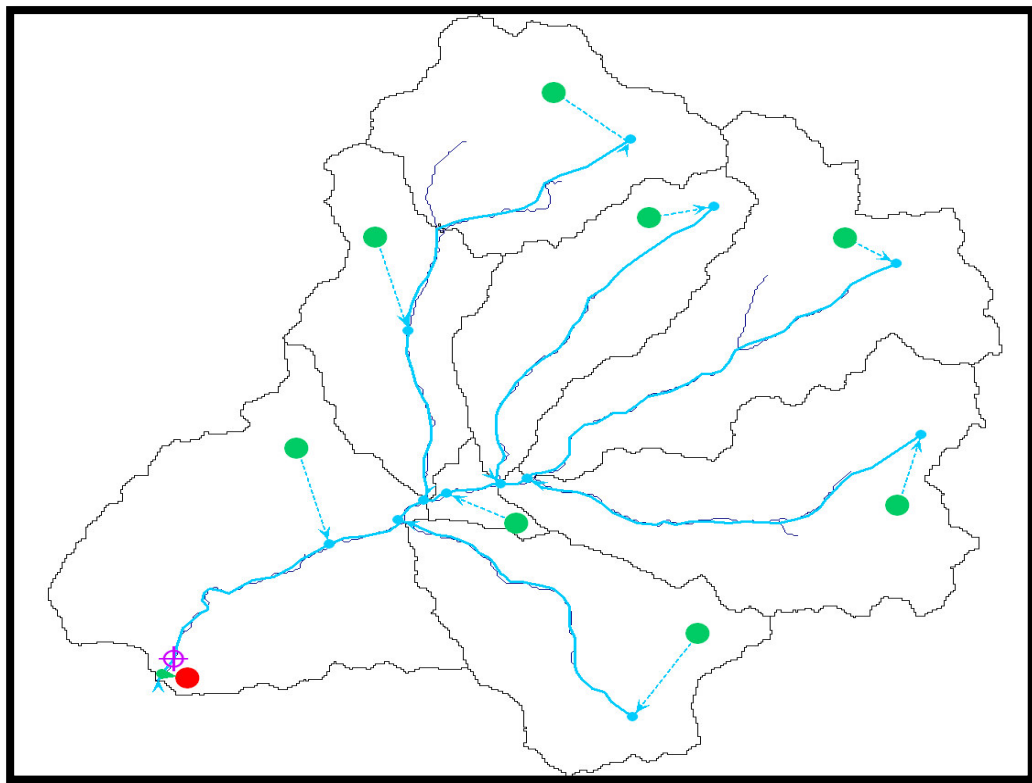
3.5.1 Definición del esquema topológico

Para el inicio es obligado precisar el posterior término geográfico y eventuales actividades a la insuficiencia de la tesis y reservas de recursos antecedentes reunidos.

La circunscripción geoespacial de cuenca de Santa Eulalia inclusive la estación de Autisha, Figura N°16 y demarcación eventual, conocer el ciclo de tiempo 1964-2009 los antecedentes a altura fijo mensual.

Por consiguiente al punto de examinar la averiguación de SIG suministrado por la ANA, se origina a montar el bosquejo de la superficie de ilustrarse, considerando los distintos componentes que tiene la quebrada tanto de ríos, obras de apuntalamiento hídrico y asuntos de provecho de la tesis. Asimismo en este período se continúa definir las secciones de incitación, unidades fundamentales de las pruebas, establecerse a catchmensts, para fines útiles que concuerda con la circunscripción de subcuentas Santa Eulalia. Figura N° 14.

Figura N° 19: Esquema del modelo WEAP cuenca Santa Eulalia



Fuente Programa WEAP

Los constituyentes cálculos de ciclo de agua de pruebas utilizando el planteamiento WEAP forma, evapotranspiración, filtración, escorrentías, escorrentías subsuperficiales (interflow), y la corriente inicial. WEAP necesita el ingreso de antecedentes climatológicos y tiene un revestimiento de vegetales se evaluará las materias del cálculo de ciclo de agua en conjunto una de la unidad (catchmensts).

Añadiendo, los antecedentes de cantidades en abundancia en estaciones de cálculo se necesario de realizar la comparación de los resultados de la modelación y efectuar evaluaciones.

3.5.2 Cobertura vegetal

A la actualidad la cuenca del río Rímac se diferencia por 6 tipos de cobertura (tabla 15: tipo de cobertura) donde la repartición es de la cuenca mencionada en la tabla siguiente:

Tabla N° 15: Tipo de cobertura.

| TIPO DE COBERTURA | Área km. | % |
|--------------------------------|-----------------|----------------|
| Matorral arbustivo abierto | 718.3 | 38.7% |
| Pradera en zona de clima frio | 912.1 | 49.1% |
| Cultivos/Áreas intervenidas | 10.2 | 0.6% |
| Nevados | 1.0 | 0.06% |
| Desierto en zona d clima árido | 206.8 | 11.1% |
| Cuerpo de agua | 7.8 | 0.4% |
| TOTAL | 1856.2 | 100.00% |

Fuente: Elaborado a partir de datos del MINAM (2015)

a) Terrenal arborescente abierto

Está ubicado a la región media y alta de lado occidente andina, varían en las cotas de 2000 y 4000 m.s.n.m. contiene terrenos de secciones arborescentes verdosas en la altura de inclusive de cinco metros la cual cambian la clasificación de la tierra en altitud abarcando; la zona inferior es de particularmente xerofítico a sustento en agrupaciones arborescentes que abandonan a totalidad su frondosidad en tanto que el tiempo escaso de agua en los años, en los lugares superiores posee una frondosidad constantemente verdoso de aspectos de gran variedad y clasificaciones que existen en el ámbito del proyecto.

b) Áreas de climas frios

Están distribuidos en su ubicación de alturas de los andes, así indicando con la su cota 4000 m.s.n.m. contando con el entorno acuoso y

bajas temperaturas. Se halla el prototipo cubriendo todo el entorno y asociando ambos prototipos agrupados de hierbas duras y espinoso, el prototipo donde abunda hierba de maleza en el terreno andino.

c) Áreas de cultivos influyentes

Es llamado a las secciones influyentes de los individuos que se ha modificado las cubren distintas áreas de agricultura o comunidades, cambiando los ambientes de evapotranspiración y drenaje.

d) Nevado

Es concurrente en el inicio su cota de 5500 m.s.n.m. se contempla los glaciares de prolongado de años se está extinguiendo.

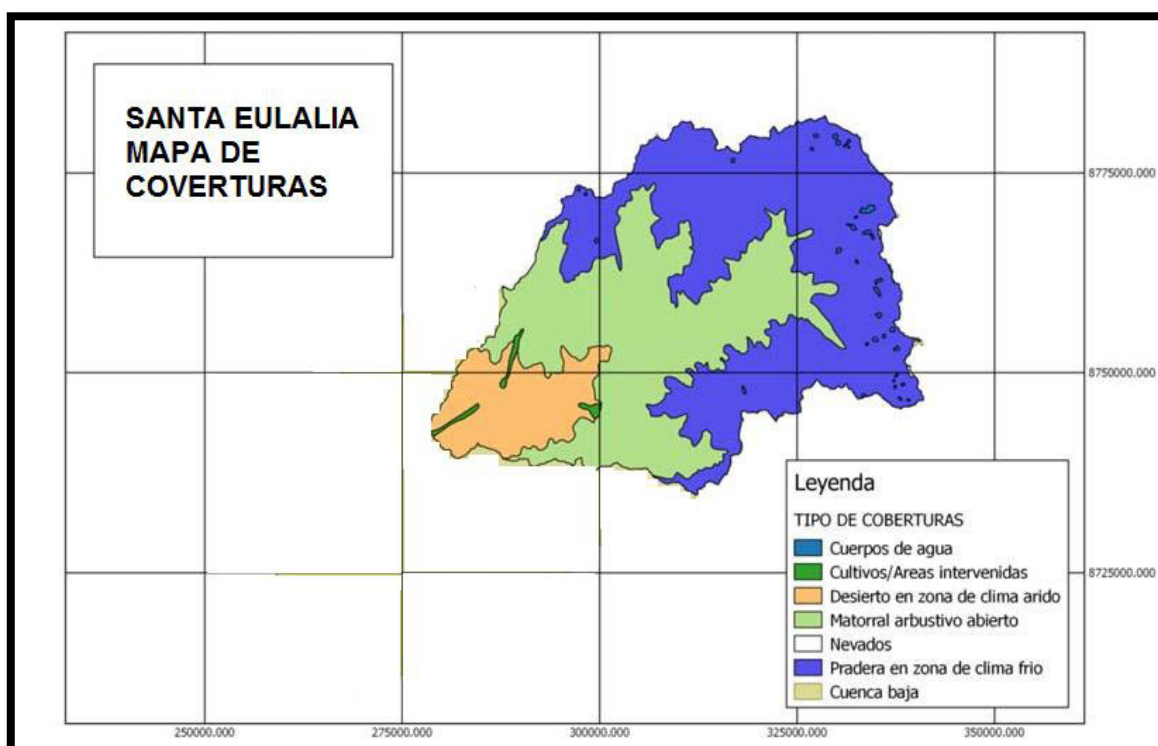
e) Desierto en zona de clima árido

Presenta muy poca vegetación que se caracteriza tener corteza dura y espinas. La mayor parte del desierto es dominado por arenas, que varían de color de acuerdo a las condiciones del lugar.

f) Forma de agua

En este conjunto se aprecia a las secciones acumuladas de agua como represas, ríos, lagunas, etc.

Figura N° 20: Mapa de coberturas.



Fuente: Elaboración de datos del MINAM (2015).

3.5.3 Datos climáticos

Los datos de precipitación deben existencia series continuas para el periodo de modelación, estos pueden presentarse en forma de: Isoyetas, relaciones de altura o precipitación. En el actual trabajo se procesó los datos para ser presentados en forma de isoyetas, para ello se usó el procedimiento de interposición Kriging, obteniendo series de período para cada conjunto de unidad catchment.

Los siguientes antecedentes de climas media, infiltración concernientemente y la velocidad de viento fueron obtenidos del documento de Apreciación de Demanda de Agua en las Superficie de su Cuenca del Río Rímac y no fue obligatorio efectuar ningún progreso adicional.

3.6. Calibración y validación del modelo

La apreciación del progreso de comprobación se determinó a través del análisis de las abundancias analizado de frecuencia sus capacidades de Santo Domingo y las abundancias resultados por parte de una simulación.

Su progreso evaluación de ejemplo de prueba en transcurso repetitivo y manejable; se procedió a realizar las siguientes actividades de la simulación, en específico los términos de conductividad, de punto de acopio, coeficiente de resistencia al escurrimiento y trayectoria de flujo.

Si el transcurso de apreciación y corroboración del ejemplo se determinó en un tiempo de época de los antecedentes de climas (apresuramiento, temperaturas, etc.) concurren con los antecedentes de ciclo de agua.

La clasificación utilizada en el cálculo del grado de acercamiento de la modelación, fue: la clasificación de eficacia de Nash-Sutcliffe, de apacible (Bias o desvío relativo de los abundancias), y el factor reciprocidad de Pearson.

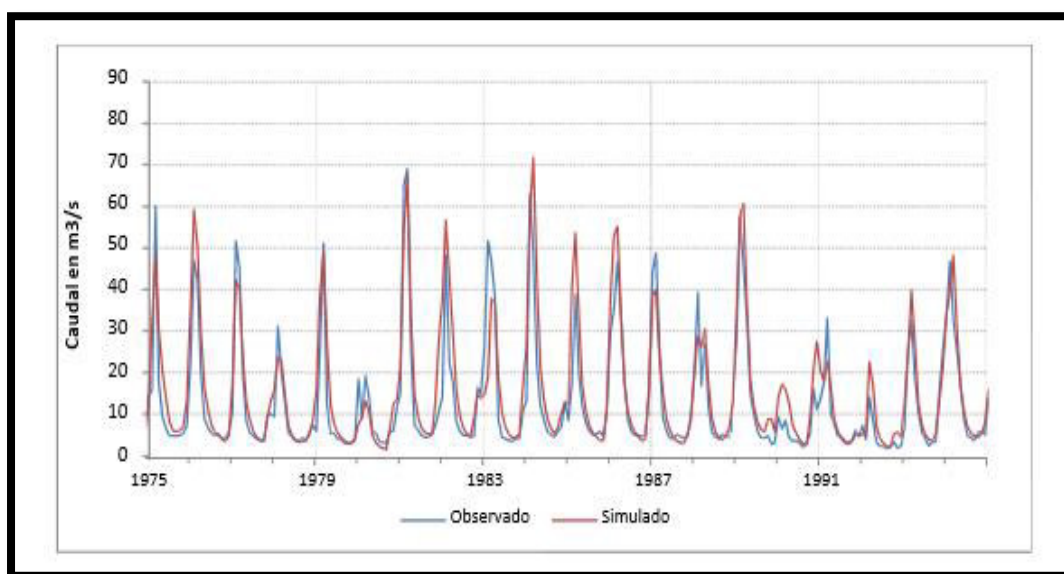
Tabla N° 16. Indicadores de la eficiencia del modelo

| Indicador | Ecuación | Rango | Valor esperado |
|-------------------|---|--------|----------------|
| Indicador de Nash | $E_f = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_{s,i} - q_{0,i})^2}{\sum_{i=1}^n (q_{0,i} - \bar{q}_0)^2}$ | -1 a 1 | 1 |
| Bias Score | $BIAS = \left[\frac{\bar{q}_s - \bar{q}_0}{\bar{q}_0} \right]$ | -1 a 1 | 0 |
| Pearson | $\frac{\sum (q_{s,i} - \bar{q}_s) (q_{0,i} - \bar{q}_0)}{\sqrt{\sum (q_{s,i} - \bar{q}_s)^2 \sum (q_{0,i} - \bar{q}_0)^2}}$ | -1 a 1 | 1 |

Fuente: Elaborado a partir de datos del MINAM (2015)

Con la investigación útil de registros hidrométricos ha sido viable calibrar y validar el modelo hidrológico en la estación de intervención Santo Domingo, obteniendo títulos estadísticos satisfactorios (índice de Nash, BIAS, Pearson), lo que demuestra que el modelo está representando adecuadamente la cuenca. Los determinados gráficos del modelo, los términos del caudal simulado y examinado en las etapas de la evaluación y acometividad, estas estadísticas permitirán verificar el caudal examinado con el caudal calculado a elevación fijo mensual.

Figura N° 21: Periodo de calibración (1965-1994)



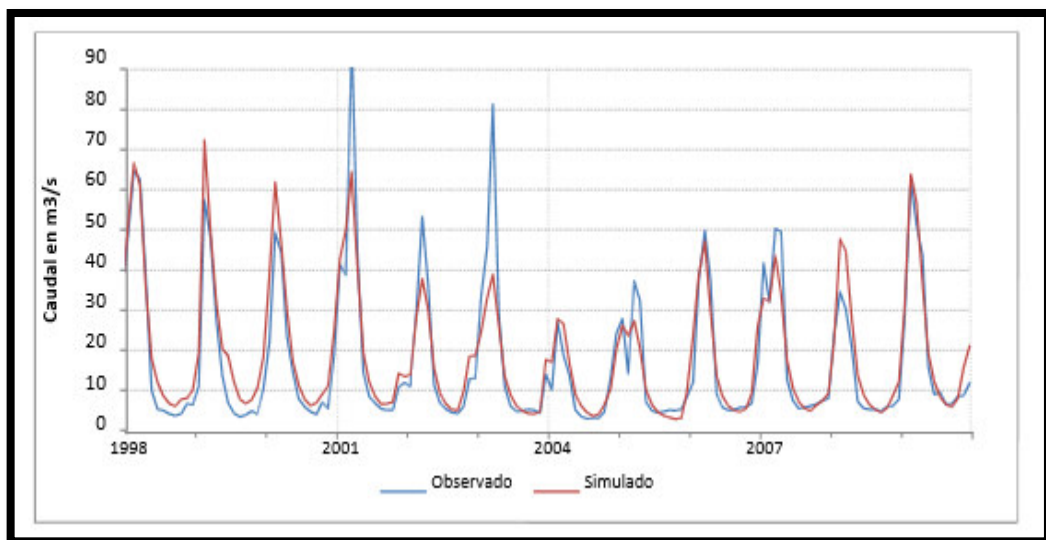
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 17: Indicador y valor de eficiencia del modelo para las calibraciones.

| Indicador | Valor |
|-----------|-------|
| Nash | 0.77 |
| Nash - ln | 0.82 |
| BIAS | 0.18 |
| Pearson r | 0.91 |

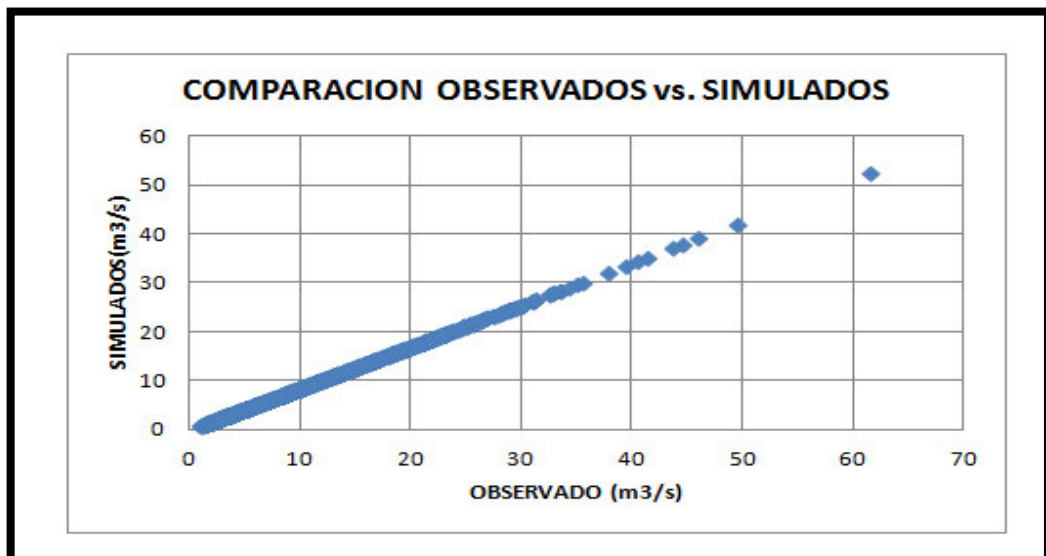
Fuente: Elaborado a partir de datos del MINAM (2015)

Figura N° 22: Periodo de validación (1995-2009)



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 23: Comparación Observados vs Simulados

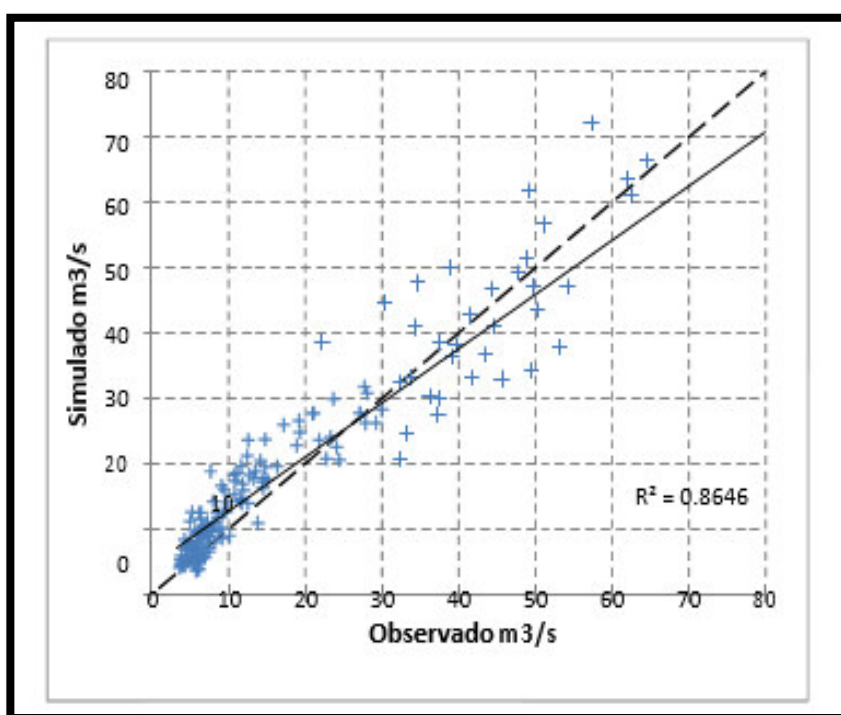


Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 18: Indicadores y valores de eficiencia del modelo para el periodo de validación.

| Indicador | Valor |
|-----------|-------|
| Nash | 0.86 |
| Nash - ln | 0.87 |
| BIAS | 0.09 |
| Pearson r | 0.93 |

Figura N° 24: Comparación de caudales simulados -observados, periodo de la calibración.



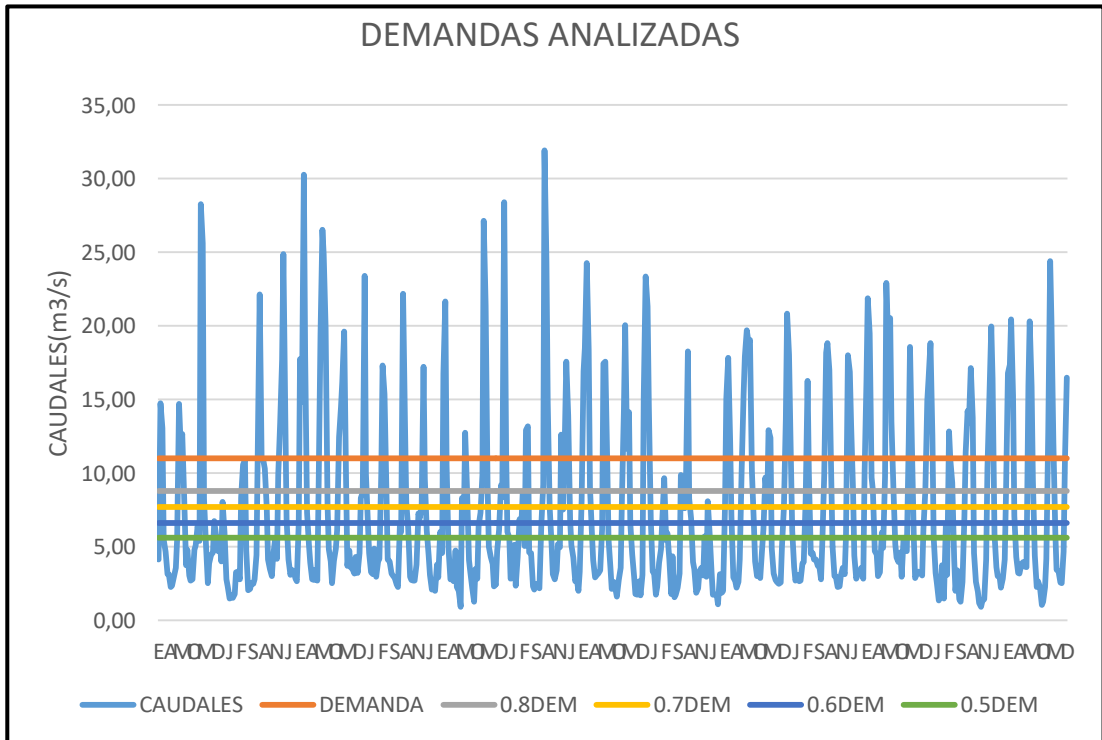
Fuente: Elaboración Propia.

3.7 Simulación de operación del embalse

3.7.1 Demanda Potencial

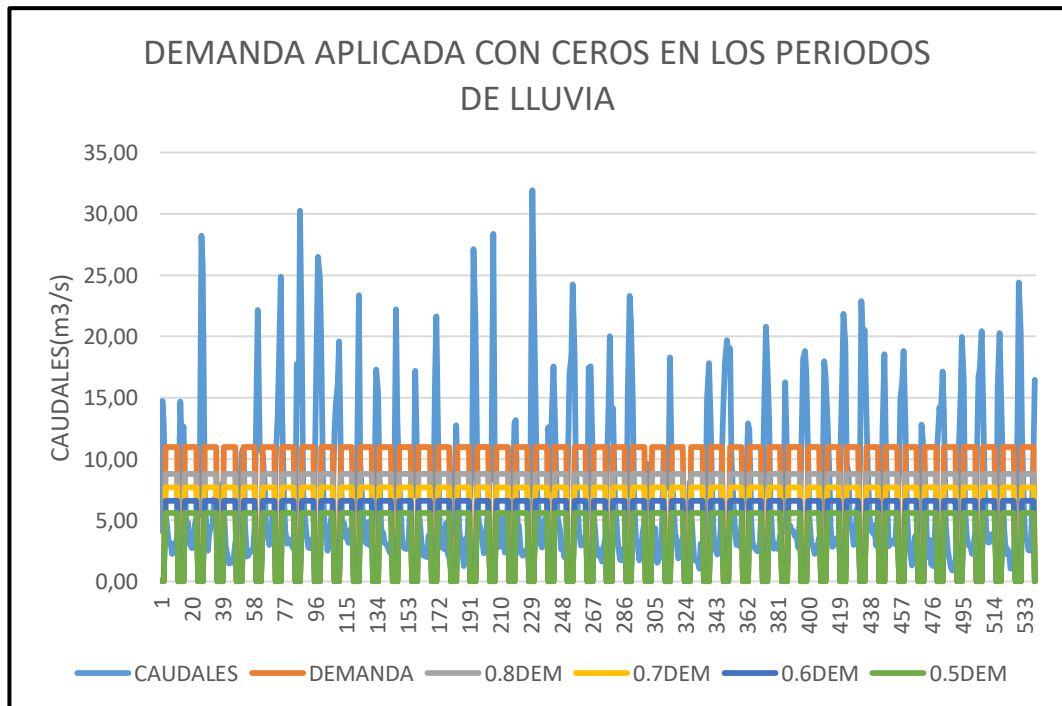
La demanda potencial se ha concretado en base a la valor del promedio multianual de las disponibilidades dado que este valor sería lo máximo que se podría satisfacer dado y así mismo se definido demandas menores a la potencial 0.8, 0.7, 0.6 y 0.5 de la potencial.

Figura N° 25 Demandas analizadas para determinar la capacidad hidrológica en Autisha



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 26: Demanda aplicada con ceros abajo del embalse Autisha



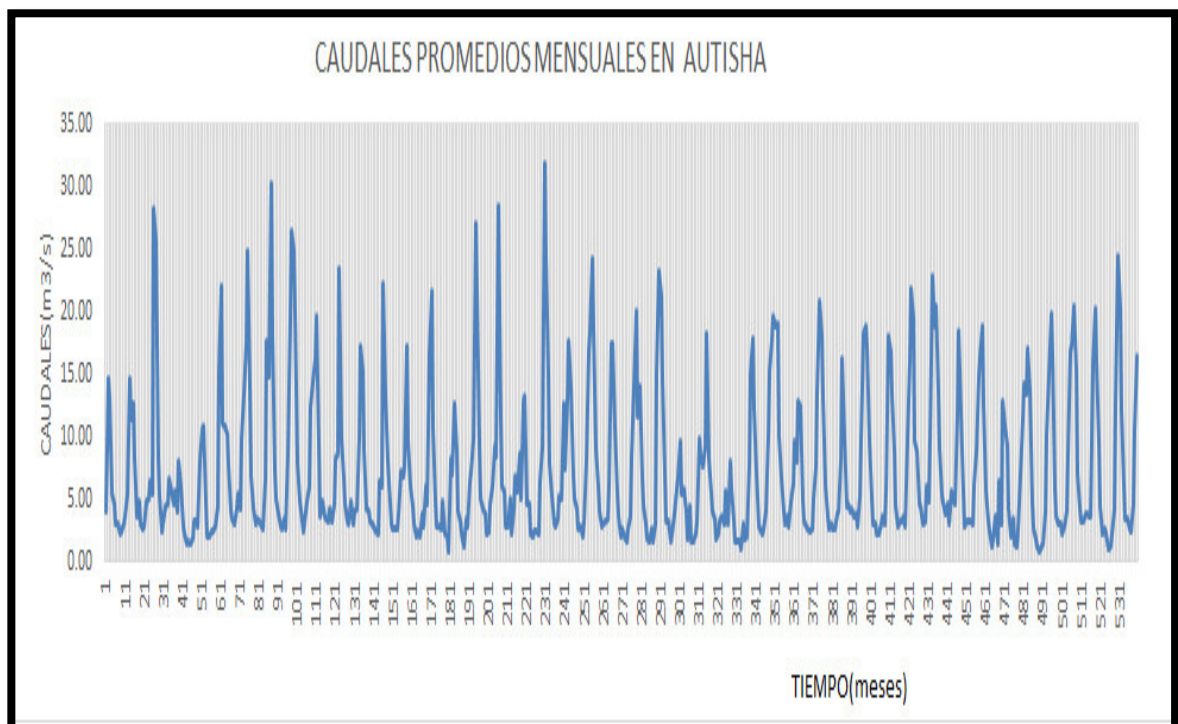
Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caudales efectuados en los puntos de intereses

Al punto de calcular y admitir la modelación del apresuramiento-escorrimento se precede a crear sesiones de caudales para el punto equitativo de beneficio a iniciar de las informaciones de climas en el tiempo de 1965-2009.

Figura N° 27: Serie de caudales generados en el punto de interés.



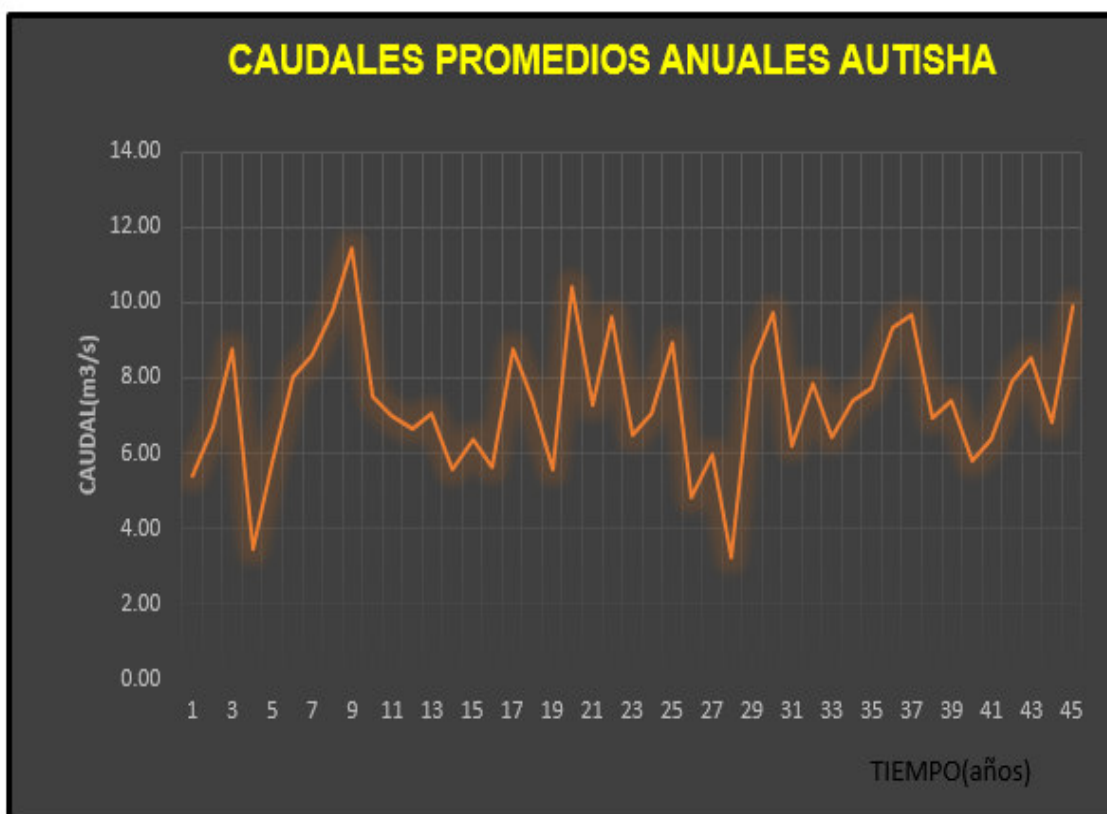
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 19. Caudales promedios mensuales Autisha

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Prom. Anual |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------------|
| 1965 | 4.12 | 14.74 | 13.02 | 5.49 | 4.64 | 3.13 | 3.13 | 2.27 | 2.34 | 2.96 | 3.54 | 5.46 | 5.40 |
| 1966 | 14.71 | 11.39 | 12.65 | 8.32 | 3.72 | 4.79 | 3.02 | 2.70 | 2.77 | 4.78 | 5.07 | 6.38 | 6.69 |
| 1967 | 5.40 | 28.24 | 25.60 | 8.27 | 5.20 | 2.52 | 3.87 | 4.43 | 4.62 | 6.72 | 5.67 | 4.67 | 8.77 |
| 1968 | 5.64 | 3.98 | 8.05 | 5.99 | 2.78 | 2.28 | 1.46 | 1.68 | 1.53 | 1.78 | 3.25 | 3.29 | 3.48 |
| 1969 | 2.79 | 8.32 | 10.56 | 10.92 | 4.72 | 2.04 | 2.11 | 2.52 | 2.46 | 2.79 | 4.41 | 15.20 | 5.74 |
| 1970 | 22.14 | 10.99 | 10.76 | 10.31 | 7.66 | 4.13 | 3.48 | 2.97 | 4.33 | 5.45 | 4.17 | 9.92 | 8.03 |
| 1971 | 13.45 | 17.70 | 24.87 | 13.90 | 6.86 | 4.14 | 3.08 | 3.44 | 3.28 | 2.82 | 2.66 | 6.62 | 8.57 |
| 1972 | 17.75 | 14.80 | 30.27 | 18.07 | 7.29 | 5.07 | 3.89 | 2.78 | 2.71 | 3.42 | 2.67 | 8.78 | 9.79 |
| 1973 | 19.39 | 26.50 | 24.82 | 19.87 | 7.82 | 4.82 | 3.97 | 2.50 | 4.02 | 4.85 | 6.12 | 12.43 | 11.43 |
| 1974 | 14.49 | 16.19 | 19.59 | 9.29 | 3.68 | 4.74 | 3.62 | 3.45 | 3.15 | 4.29 | 3.19 | 4.57 | 7.52 |
| 1975 | 8.30 | 8.69 | 23.38 | 9.91 | 6.66 | 4.54 | 3.27 | 3.11 | 4.88 | 2.94 | 4.01 | 4.18 | 6.99 |
| 1976 | 10.03 | 17.31 | 15.34 | 8.78 | 4.14 | 3.99 | 3.15 | 3.03 | 2.85 | 2.41 | 2.24 | 6.42 | 6.64 |
| 1977 | 5.99 | 22.19 | 13.34 | 7.98 | 6.26 | 2.95 | 2.71 | 2.68 | 2.68 | 3.78 | 7.25 | 6.91 | 7.06 |
| 1978 | 7.68 | 17.22 | 9.60 | 6.08 | 4.37 | 3.09 | 2.09 | 2.38 | 1.97 | 3.77 | 2.92 | 5.98 | 5.60 |
| 1979 | 4.56 | 16.72 | 21.66 | 10.57 | 4.86 | 2.77 | 2.80 | 2.63 | 4.75 | 2.25 | 2.01 | 0.92 | 6.38 |
| 1980 | 8.28 | 6.96 | 12.73 | 8.83 | 4.09 | 3.30 | 2.20 | 1.26 | 3.49 | 2.83 | 6.37 | 7.28 | 5.64 |
| 1981 | 9.88 | 27.12 | 21.39 | 9.23 | 4.99 | 4.29 | 3.81 | 2.30 | 2.42 | 4.67 | 6.11 | 9.18 | 8.78 |
| 1982 | 8.35 | 28.38 | 11.46 | 5.99 | 5.62 | 2.82 | 2.86 | 5.12 | 2.33 | 4.26 | 6.88 | 5.62 | 7.47 |
| 1983 | 8.72 | 5.04 | 12.89 | 13.18 | 4.62 | 4.55 | 2.28 | 2.07 | 2.48 | 2.34 | 2.16 | 6.49 | 5.57 |
| 1984 | 9.23 | 31.91 | 24.33 | 14.81 | 7.75 | 5.16 | 3.12 | 2.79 | 3.39 | 5.15 | 4.94 | 12.62 | 10.43 |
| 1985 | 7.51 | 12.98 | 17.58 | 13.92 | 6.83 | 5.09 | 4.27 | 2.63 | 2.92 | 2.00 | 3.30 | 8.15 | 7.27 |
| 1986 | 16.90 | 18.46 | 24.25 | 18.38 | 9.05 | 5.96 | 4.07 | 2.91 | 3.08 | 3.17 | 3.40 | 6.19 | 9.65 |
| 1987 | 17.44 | 17.54 | 10.68 | 5.50 | 3.55 | 2.12 | 2.61 | 2.06 | 1.60 | 2.72 | 3.57 | 8.38 | 6.48 |
| 1988 | 14.20 | 20.04 | 11.64 | 14.14 | 6.61 | 4.49 | 2.94 | 1.79 | 1.71 | 2.66 | 1.70 | 3.08 | 7.08 |
| 1989 | 15.16 | 23.33 | 21.29 | 14.53 | 6.87 | 3.31 | 3.30 | 1.71 | 2.26 | 3.89 | 4.81 | 6.82 | 8.94 |
| 1990 | 9.64 | 5.43 | 5.91 | 4.11 | 1.78 | 4.36 | 1.54 | 1.71 | 2.22 | 3.16 | 9.86 | 8.53 | 4.85 |
| 1991 | 7.61 | 9.33 | 18.27 | 8.27 | 6.90 | 3.95 | 3.46 | 1.88 | 2.15 | 3.30 | 3.57 | 3.03 | 5.98 |
| 1992 | 5.68 | 2.94 | 8.10 | 5.87 | 3.27 | 1.71 | 1.72 | 1.72 | 1.07 | 3.11 | 1.87 | 1.98 | 3.25 |
| 1993 | 7.78 | 15.04 | 17.82 | 12.19 | 7.07 | 2.91 | 2.64 | 2.19 | 2.60 | 4.12 | 10.21 | 15.28 | 8.32 |
| 1994 | 17.92 | 19.70 | 18.79 | 19.04 | 10.14 | 6.65 | 4.00 | 3.00 | 3.58 | 2.86 | 4.86 | 6.15 | 9.72 |
| 1995 | 9.67 | 8.09 | 12.89 | 12.40 | 4.87 | 3.17 | 2.75 | 2.60 | 2.46 | 2.55 | 5.04 | 7.64 | 6.18 |
| 1996 | 13.64 | 20.82 | 18.04 | 13.05 | 6.10 | 3.62 | 2.69 | 3.07 | 2.65 | 2.67 | 3.84 | 3.94 | 7.84 |
| 1997 | 8.22 | 16.25 | 9.94 | 4.50 | 4.57 | 4.12 | 4.14 | 3.70 | 3.79 | 2.76 | 5.27 | 9.87 | 6.43 |
| 1998 | 18.19 | 18.81 | 16.99 | 9.60 | 4.98 | 3.01 | 3.00 | 2.25 | 2.30 | 3.03 | 3.55 | 3.13 | 7.40 |
| 1999 | 5.74 | 17.98 | 16.85 | 13.32 | 8.82 | 4.37 | 2.83 | 3.18 | 3.26 | 3.56 | 2.83 | 9.91 | 7.72 |
| 2000 | 16.28 | 21.87 | 19.46 | 9.68 | 8.82 | 4.67 | 4.48 | 3.00 | 3.26 | 5.96 | 4.90 | 9.75 | 9.34 |
| 2001 | 22.89 | 18.92 | 20.52 | 13.48 | 9.09 | 5.15 | 4.24 | 3.93 | 4.58 | 2.95 | 5.61 | 4.81 | 9.68 |
| 2002 | 4.67 | 12.10 | 18.56 | 11.83 | 5.50 | 2.88 | 3.18 | 3.31 | 3.19 | 3.05 | 6.23 | 8.87 | 6.95 |
| 2003 | 14.91 | 16.40 | 18.83 | 12.52 | 5.61 | 3.19 | 2.53 | 1.33 | 1.91 | 3.71 | 1.48 | 6.41 | 7.40 |
| 2004 | 3.08 | 12.83 | 10.89 | 9.34 | 4.15 | 1.97 | 3.40 | 1.41 | 1.24 | 2.59 | 7.03 | 11.41 | 5.78 |
| 2005 | 14.22 | 13.40 | 17.14 | 13.75 | 4.57 | 2.59 | 1.93 | 1.17 | 0.89 | 1.31 | 1.41 | 4.12 | 6.38 |
| 2006 | 10.34 | 15.07 | 19.94 | 16.43 | 5.85 | 3.60 | 2.99 | 2.95 | 2.23 | 2.82 | 4.13 | 8.63 | 7.92 |
| 2007 | 16.76 | 17.35 | 20.44 | 15.26 | 7.06 | 4.31 | 3.20 | 3.17 | 3.82 | 3.93 | 3.63 | 3.60 | 8.54 |
| 2008 | 15.91 | 20.29 | 15.86 | 9.46 | 4.40 | 2.24 | 2.66 | 2.27 | 1.04 | 1.25 | 2.27 | 4.15 | 6.82 |
| 2009 | 12.79 | 24.38 | 20.33 | 12.07 | 5.98 | 3.43 | 3.36 | 2.55 | 2.52 | 4.64 | 10.69 | 16.46 | 9.93 |

Fuente: Senamhi

Figura N° 28: Régimen anual de escorrentía en el punto de interés.



Fuente: Elaboración Propia

Se tiene la figura preliminar manifestando la moderación anual de su escurrimiento del punto de beneficio y la mitad móvil de tiempo de cinco años. Toda abundancia media anual fue repartida por la abundancia media multianual toda esta sucesión. Analizando un cambio de tiempos acuoso (mayor a 1) y áridos (menor a 1) y la sucesión de estación (no tiene predisposición). El periodo del estiaje crecidamente crítico corresponde a los años 1964-2009.

4.2 Determinación topográfica de volumen de almacenamiento Autisha

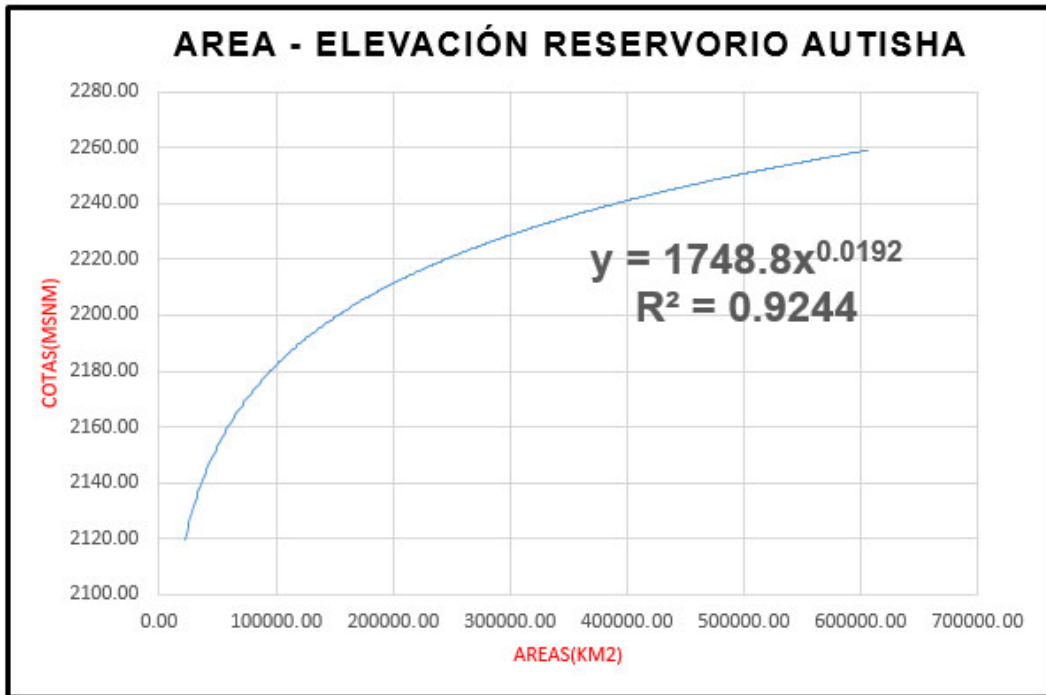
En base a la información procesada de la topografía de la zona donde se ubicaría el represamiento de Autisha sobre el rio Santa Eulalia y se obtuvo la información mostrada en el tabla N°20 y las figuras N°29 y 30.

Tabla N° 20 Determinación Topográfica del Volumen de Almacenamiento en Autisha

| VALUE | COUNT | AREA | MIN | MAX | AREA CUM | VOL PARC | VOL ACUM |
|-------|-------|-------|---------|---------|-----------|------------|-------------|
| 1 | 878 | 21950 | 2150.00 | 2154.06 | 21950.00 | 128825.12 | 128825.12 |
| 2 | 783 | 19575 | 2154.08 | 2159.39 | 41525.00 | 272746.73 | 401571.84 |
| 3 | 786 | 19650 | 2159.40 | 2165.41 | 61175.00 | 439396.39 | 840968.23 |
| 4 | 957 | 23925 | 2165.42 | 2171.48 | 85100.00 | 567130.08 | 1408098.31 |
| 5 | 680 | 17000 | 2171.50 | 2176.88 | 102100.00 | 603617.42 | 2011715.73 |
| 6 | 801 | 20025 | 2176.90 | 2182.06 | 122125.00 | 674039.26 | 2685754.99 |
| 7 | 672 | 16800 | 2182.08 | 2186.95 | 138925.00 | 721491.04 | 3407246.03 |
| 8 | 752 | 18800 | 2186.98 | 2191.79 | 157725.00 | 799488.82 | 4206734.85 |
| 9 | 683 | 17075 | 2191.80 | 2196.69 | 174800.00 | 908707.71 | 5115442.56 |
| 10 | 879 | 21975 | 2196.71 | 2201.05 | 196775.00 | 883583.09 | 5999025.65 |
| 11 | 544 | 13600 | 2201.06 | 2204.74 | 210375.00 | 801878.67 | 6800904.32 |
| 12 | 599 | 14975 | 2204.76 | 2208.57 | 225350.00 | 900163.91 | 7701068.23 |
| 13 | 874 | 21850 | 2208.58 | 2212.80 | 247200.00 | 1082208.09 | 8783276.32 |
| 14 | 753 | 18825 | 2212.81 | 2217.31 | 266025.00 | 1240783.54 | 10024059.86 |
| 15 | 768 | 19200 | 2217.32 | 2221.90 | 285225.00 | 1350440.54 | 11374500.40 |
| 16 | 755 | 18875 | 2221.93 | 2226.55 | 304100.00 | 1453828.78 | 12828329.18 |
| 17 | 814 | 20350 | 2226.58 | 2230.60 | 324450.00 | 1336571.20 | 14164900.38 |
| 18 | 631 | 15775 | 2230.64 | 2234.11 | 340225.00 | 1210868.43 | 15375768.81 |
| 19 | 673 | 16825 | 2234.13 | 2237.70 | 357050.00 | 1306556.06 | 16682324.87 |
| 20 | 690 | 17250 | 2237.72 | 2241.21 | 374300.00 | 1337226.87 | 18019551.74 |
| 21 | 681 | 17025 | 2241.22 | 2244.58 | 391325.00 | 1342161.03 | 19361712.77 |
| 22 | 719 | 17975 | 2244.58 | 2247.98 | 409300.00 | 1437642.33 | 20799355.10 |
| 23 | 1096 | 27400 | 2247.99 | 2251.01 | 436700.00 | 1347775.27 | 22147130.37 |
| 24 | 752 | 18800 | 2251.02 | 2253.60 | 455500.00 | 1199724.20 | 23346854.57 |
| 25 | 735 | 18375 | 2253.61 | 2256.12 | 473875.00 | 1215549.62 | 24562404.19 |
| 26 | 761 | 19025 | 2256.13 | 2258.61 | 492900.00 | 1263955.46 | 25826359.65 |
| 27 | 1313 | 32825 | 2258.61 | 2260.80 | 525725.00 | 1166536.40 | 26992896.05 |
| 28 | 685 | 17125 | 2260.81 | 2262.70 | 542850.00 | 1041061.77 | 28033957.82 |
| 29 | 652 | 16300 | 2262.70 | 2264.62 | 559150.00 | 1087732.96 | 29121690.78 |
| 30 | 725 | 18125 | 2264.62 | 2266.64 | 577275.00 | 1183402.92 | 30305093.70 |
| 31 | 719 | 17975 | 2266.65 | 2268.79 | 595250.00 | 1286702.03 | 31591795.72 |
| 32 | 456 | 11400 | 2268.80 | 2271.71 | 606650.00 | 882426.93 | 32474222.65 |

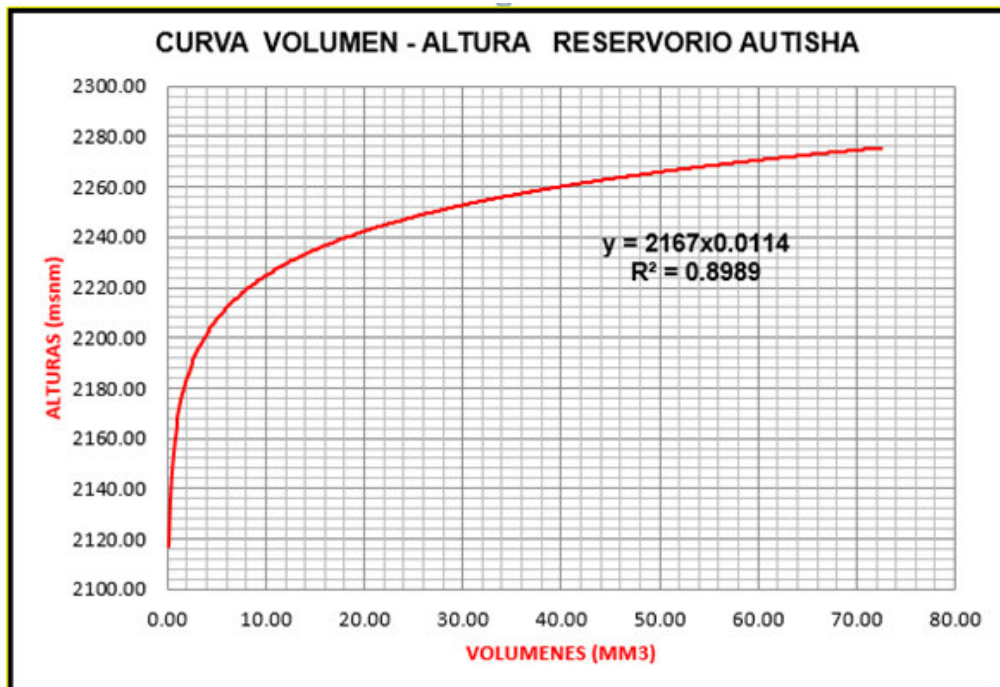
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 29: Curva Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 30: Curva Topográfica Volumen -Elevación Reservoirio Autisha



Fuente: Elaboración Propia

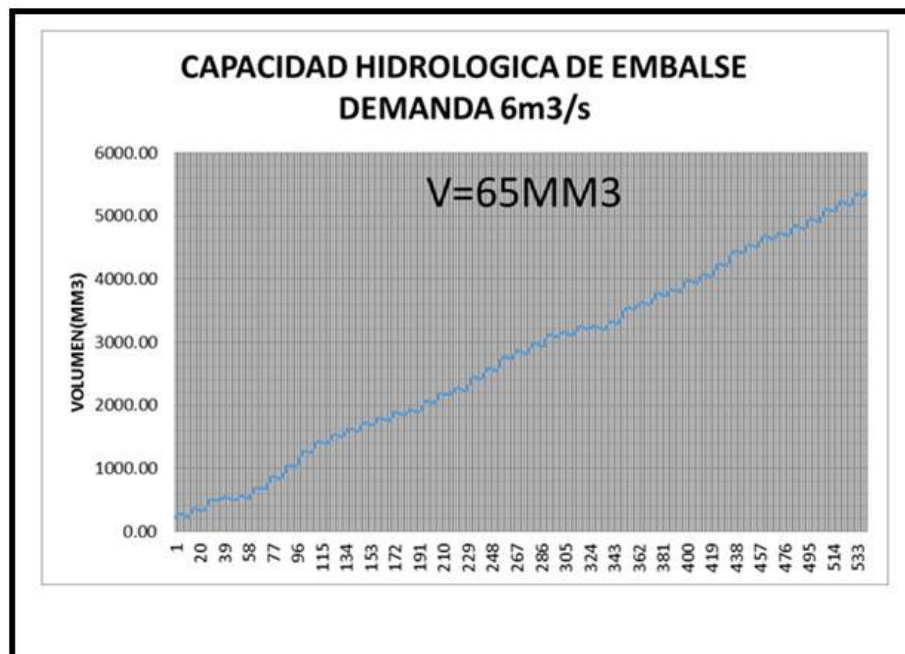
4.3 Determinación del volumen de almacenamiento

Un intervalo obtenido la concurrencia de abundancia de agua del punto de beneficio se continuó al efectuar sus procedimientos de picos secuencial de finalidad de computarizar la cantidad de acumulación requerida para el vaso Autisha.

Las técnicas aplicadas es lo siguiente:

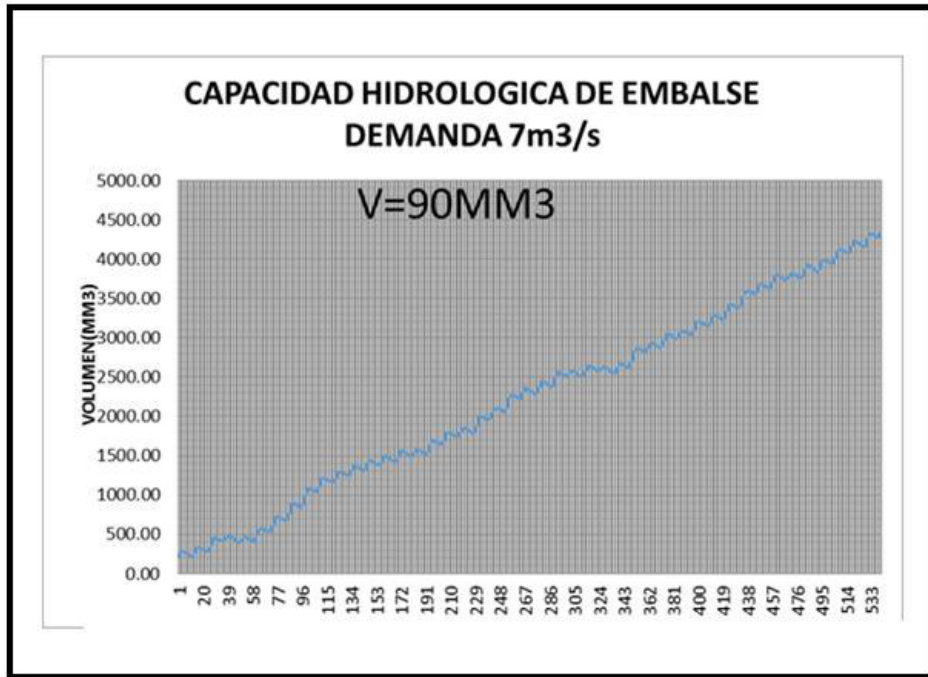
- Determino las mensualidades a mensualidades la incompatibilidad relacionada con el caudal estimado de los puntos beneficio y petición requerida del agua.
- Realizo el almacenamiento de títulos de disconformidad relación demanda (D) y oferta (O), la cota de niveles mensuales.
- Se ejecutó los esquemas de los títulos almacenados, de los tipos en las sucesivas figuras:

Figura N° 31 Volúmenes acumulados en Autisha para demanda de 6m³/s



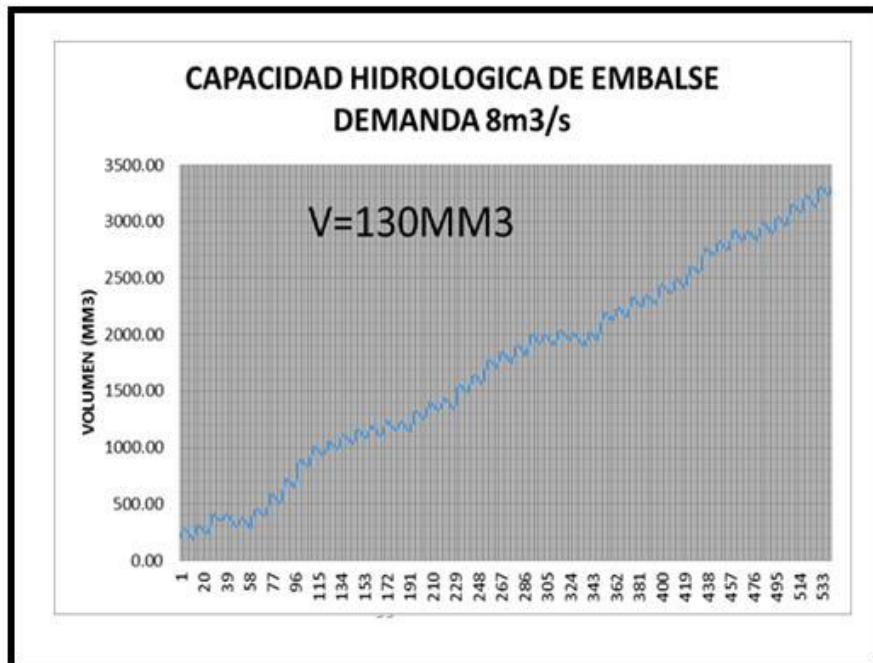
Fuente: Elaboración Propia

Figura N°32 Volúmenes acumulados en Autisha para demanda de 7m³/s



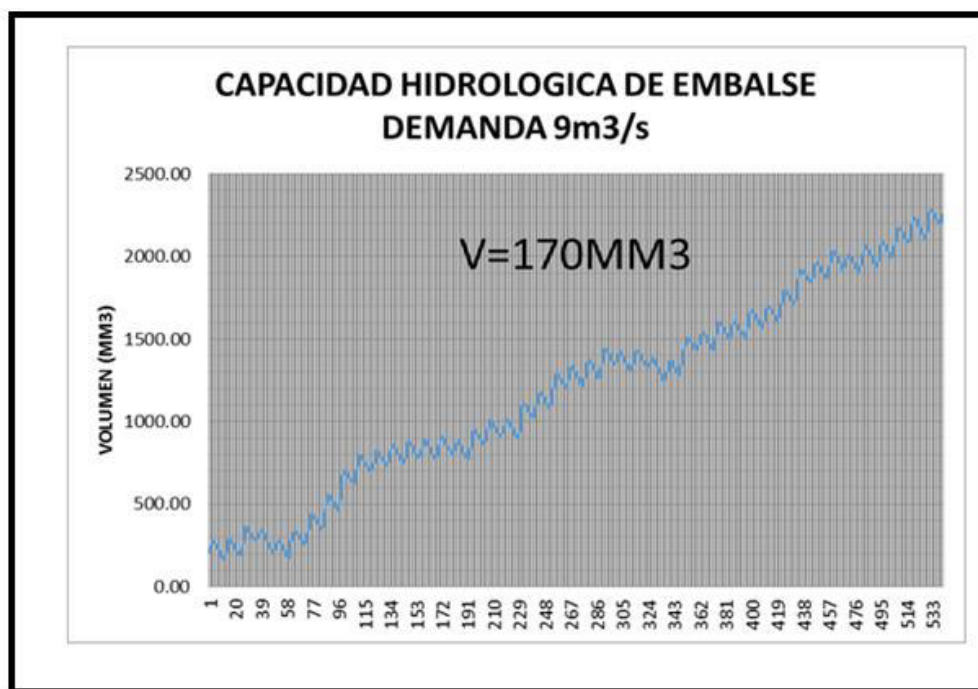
Fuente: Elaboración Propia

Figura N°33 Volumen acumulado Autisha para demanda de 8m³/s



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°34 Volumen acumulado Autisha para demanda de 9 m³/s



Fuente: Elaboración Propia

- d) Se obtuvo como consecuencia un volumen de acumulación necesitado de 65,90, 130 y 170 MM³.

Tabla N° 21 Capacidad Hidrológica en Autisha para diferentes caudales de demanda

| CAUDAL DEMANDA (m ³ /s) | CAPACIDAD HIDROLOGICA (MM ³) |
|------------------------------------|---|
| 6 | 65 |
| 7 | 89 |
| 8 | 130 |
| 9 | 171 |

Fuente Elaboración Propia

4.4 Estudios Geotécnico de la Zona de Ubicación de la Presa de Autisha

4.4.1 Mecánica de Suelos

El objetivo de realizar el estudio de Mecánica de Suelos en la zona del posible represamiento de Autisha nos permitirá realizar un diagnóstico como se encuentra el suelo donde será cimentado la presa que se pueda diseñar luego de realizar los estudios básicos que esta investigación persigue para lo cual se ha realizado una visita de campo al lugar y se ha realizado la excavación de tres calicatas de 4m de profundidad tal como se muestran en las fotografías adjuntas, del cual se han tomado muestras de suelo que han sido llevados al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en la cual se ha realizado las pruebas para la determinación de la textura de suelo existente y la determinación de su resistencia.

4.5 Geología del Área en estudio

4.5.1 Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en la superficie de tesis fueron modelados por eventos de geodinámica externa y/o interna y por el desgaste del río Rímac y sus quebradas afluentes.

Donde las unidades geomorfológicas en la terreno del propósito son: Valles y Quebradas: Comprende el valle del río Rímac a la cota de Autisha, que ha conformado un depósito aluvial ubicado sobre cauces antiguos del río Rímac, en que se han acumulado materiales transportados de la serranía occidental.

Lomas y Cerros Testigos: Forma las colinas que tiene como perímetro las estribaciones de la serranía occidental y que aparecen como testigos centralmente de la llanura aluvial, a forma de desecho producto de la acción erosiva del río Rímac.

4.5.3 Aspectos Sísmicos

La localidad de Lima ubicado en la costa de Occidente de Sudamérica, tiene borde del desierto dividiendo el Mar Pacífico y los Andes. La localización de Lima en límites de deposición de los ríos Rímac y Chillón que terminan de los Andes al Océano Pacífico. Donde su zona es fragmento del Cinturón Circum-Pacífico, pertenece a la zona sísmica crecidamente activas del mundo.

El sismo originario básicamente a través de la subducción por la placa tectónica, en la parte inferior en la placa sudamericana.

Es un terreno que se generó a través de sismos de aceptación dimensión con periodos de recurrencia comparativamente cortos.

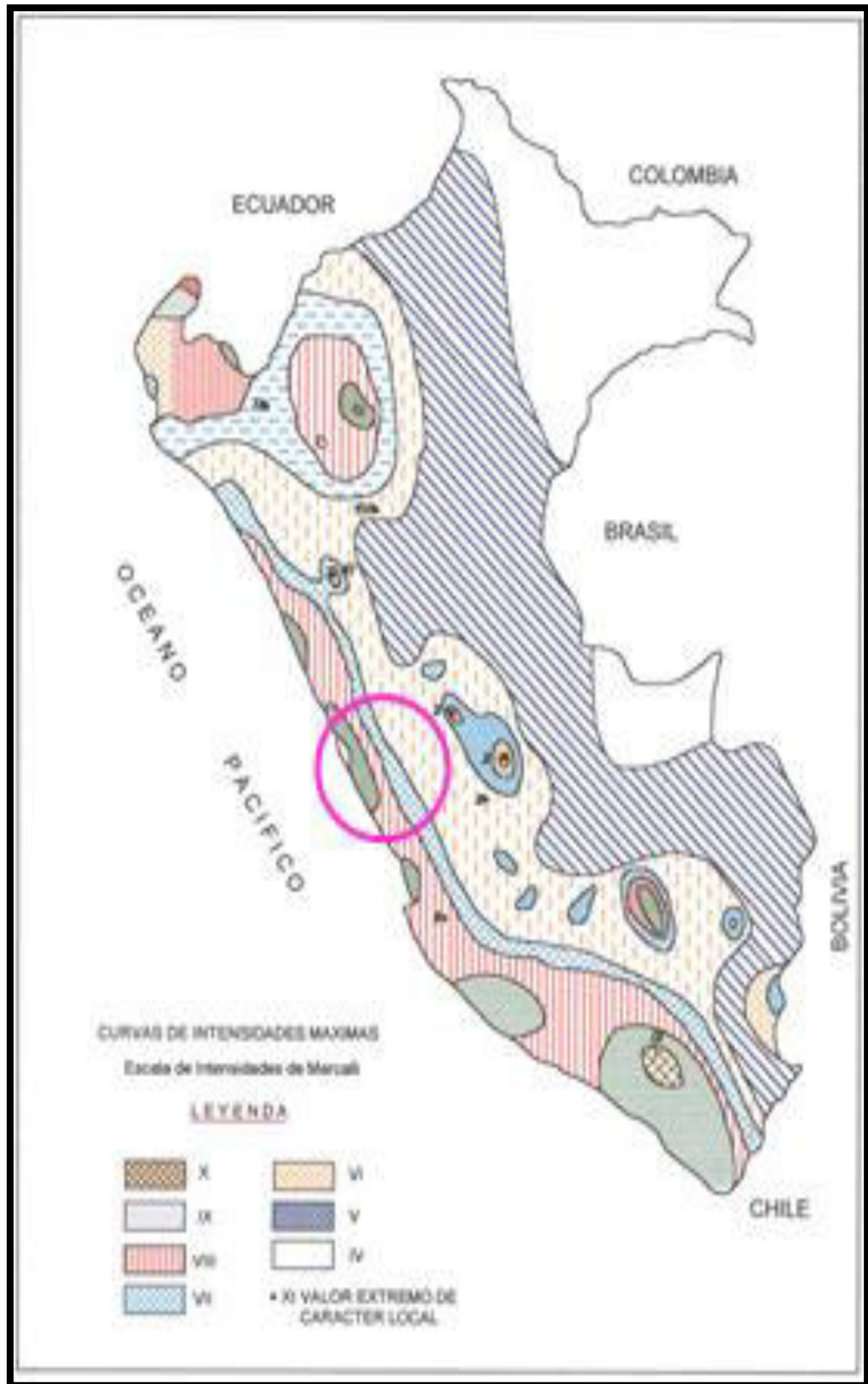
Se conforma de mapas zonificados sísmicos y planos de enormemente magnitudes sísmicos en el Perú y la colaboración de Normas Sismo-Resistentes que pertenece al RNC, y la jurisdicción de Ancón se converge en la entidad de Zona 4, correspondiéndole de sísmica aceptación y una actividad de escala.

Se muestra como Figura N°36, simbolizado en Plano Repartido en Enormemente Magnitudes Sísmicos analizados de Perú elaborado en el año 1984, respectivamente basado de Mapa Isosista de los Sismos del Perú en los antecedentes con magnitudes en puntos de referencia de sismo histórico contemporáneo mostrado de la Figura N°37, mostrando los Planos de Zonificaciones Sísmicos teniendo en cuenta la RNE la E-030 "Diseño Sismo resistente" en Reglamento Nacional de Construcciones.

Los parámetros sísmicos a usarse para la grava de Lima son:

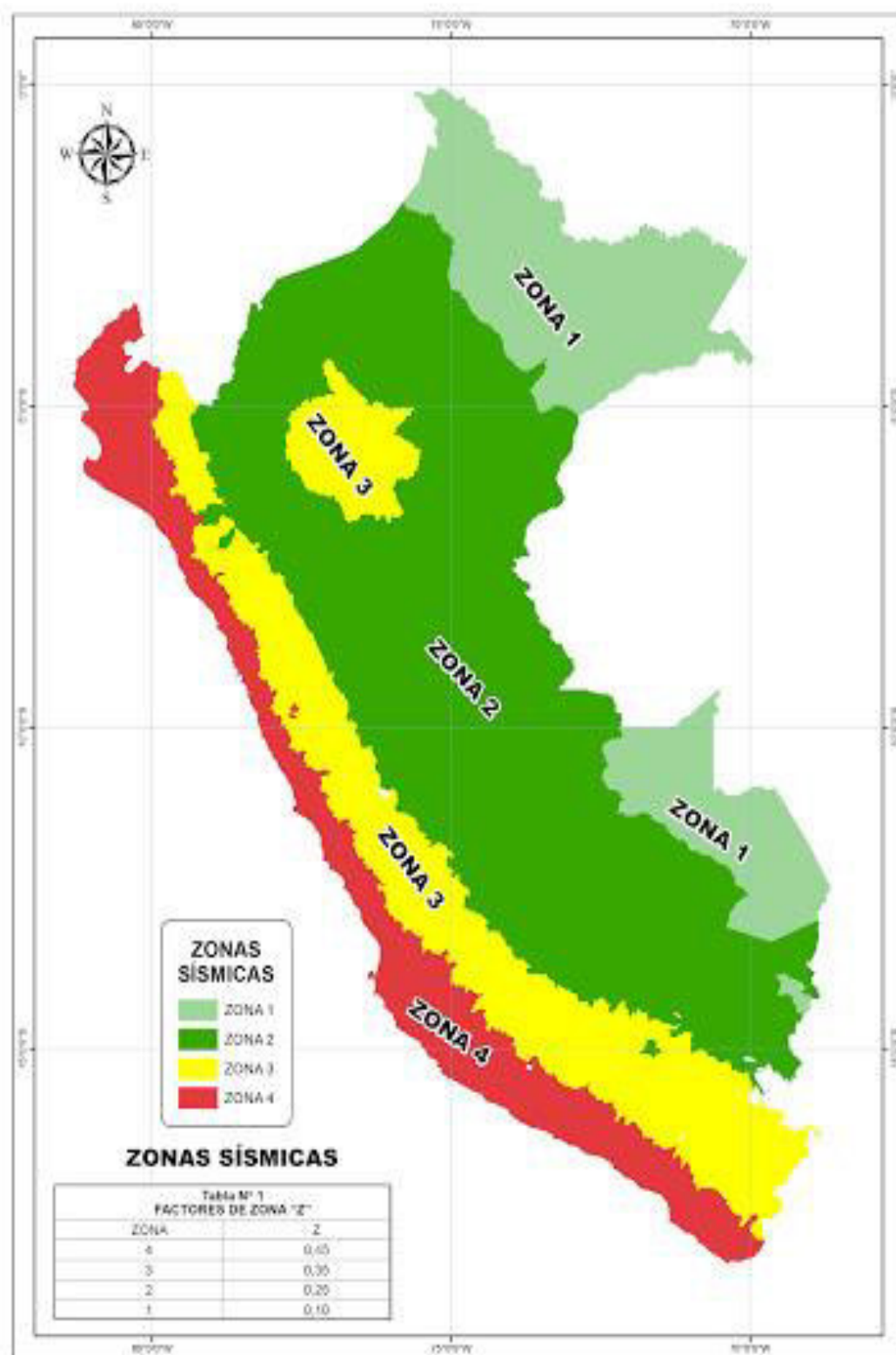
| | |
|--|------------------------------|
| Factor de Zona | $Z = 0.4 g$ |
| Factor de ampliación de ondas sísmicas | $S = 1.2$ |
| Período predominante de vibración | $T_p = 0.6 \text{ segundos}$ |

Figura N°36: Mapa de ubicación de Distribución donde se encuentra Máximas Intensidades Sísmicas



Fuente Instituto Geofísico del Perú

Figura N°37: Zonificación Sísmica del Perú, Según el Reglamento Nacional de Construcciones



Fuente Instituto Geofísico del Perú

4.6. Investigación de campo

4.6.1 Calicatas

La exploración del subsuelo se realizó mediante 4 excavaciones a cielo abierto o calicatas, distribuidas en las asociaciones de vivienda comprendidas en el esquema.

En el cuadro N°1, 2,3 y 4 de “CALICATAS” se detalla la profundidad, descripción, clasificación de S.U.C.S. y las observaciones exploradas en cada calicata ejecutada.

| CALICA #01 | | | | |
|-------------------|------|--------------------|--|---|
| PROFUNDIDAD(mts) | | DESCRIPCIÓN | CLASIFICACION S.U.C.S. | OBSERVACIONES |
| DE | A | | | |
| 0.00 | 0.60 | Arcilla Organica | OH Arcilla organica, OH de plasticidad media, color café oscuro y de consistencia inicial media. | Capa Vegetal |
| 0.60 | 0.80 | Arena Fina Limosa | SM Arena fina limosa, SM en estado compacto de color café. | W=4.00% al 7.00% f=2.19% |
| 0.80 | 2.50 | Arcilla Inorganica | CL Arcilla inorganica de baja a media plasticidad CL , de color naranja, y consistencia inicial dura; empacando roca. | W=36.4% P.V.S.M.=1520 kg/m ³ Wopt.=18.5% |

| CALICA #02 | | | | | |
|------------------|------|--------------------|------------------------|--|---|
| PROFUNDIDAD(mts) | | DESCRIPCIÓN | CLASIFICACION S.U.C.S. | | OBSERVACIONES |
| DE | A | | | | |
| 0.00 | 0.60 | Arcilla Organica | OH | Arcilla organica de baja a media plasticidad OH de, color café con tonos anaranjados, y consistencia inicial dura;empacando roca. | Capa Vegetal |
| 0.60 | 2.50 | Arcilla Inorganica | CL | Arcilla inorganica de baja a media plasticidad CL , de color café claro con tonos anaranjados, y consistencia inicial dura; empacando roca. | W=37.3% P.V.S.M.=1420 kg/m ³ Wopt.=19.5% |

| CALICA #03 | | | | | |
|------------------|------|--------------------|------------------------|--|---|
| PROFUNDIDAD(mts) | | DESCRIPCIÓN | CLASIFICACION S.U.C.S. | | OBSERVACIONES |
| DE | A | | | | |
| 0.00 | 0.60 | Arcilla Organica | OH | Arcilla organica de baja a media plasticidad OH de, color café con tonos anaranjados, y consistencia inicial dura;empacando roca. | Capa Vegetal |
| 0.60 | 2.50 | Arcilla Inorganica | CL | Arcilla inorganica de baja a media plasticidad CL , de color rojizo con tonos anaranjados, y consistencia inicial dura; empacando roca. | W=42.8% P.V.S.M.=1590 kg/m ³ Wopt.=17.6% |

| CALICA #04 | | | | | |
|------------------|------|--------------------|------------------------|--|---|
| PROFUNDIDAD(mts) | | DESCRIPCIÓN | CLASIFICACION S.U.C.S. | | OBSERVACIONES |
| DE | A | | | | |
| 0.00 | 0.60 | Arcilla Organica | OH | Arcilla organica, OH de plasticidad media, color café oscuro y de consistencia inicial media. | Capa Vegetal |
| 0.60 | 2.50 | Arcilla Inorganica | CL | Arcilla inorganica de baja a media plasticidad CL , de color amarillo, y consistencia inicial dura; empacando roca. | W=37.5% P.V.S.M.=1610 kg/m ³ Wopt.=16.8% |

4.6.2. Muestreo disturbado

Se extrajeron muestras disturbadas representativas de los estratos típicos para la realización de ensayos de laboratorio estándar y análisis químicos.

4.6.3. Inscripción de excavaciones

Correspondiente a la muestra se efectuó la investigación de conjunto de cada una de las excavaciones, registrando diversas propiedades en suelos teniendo un grosor, matiz, saturación, densidad, etc. en base a estas propiedades se le asignó una categorización de campo.

4.6.4. Evaluación de los materiales

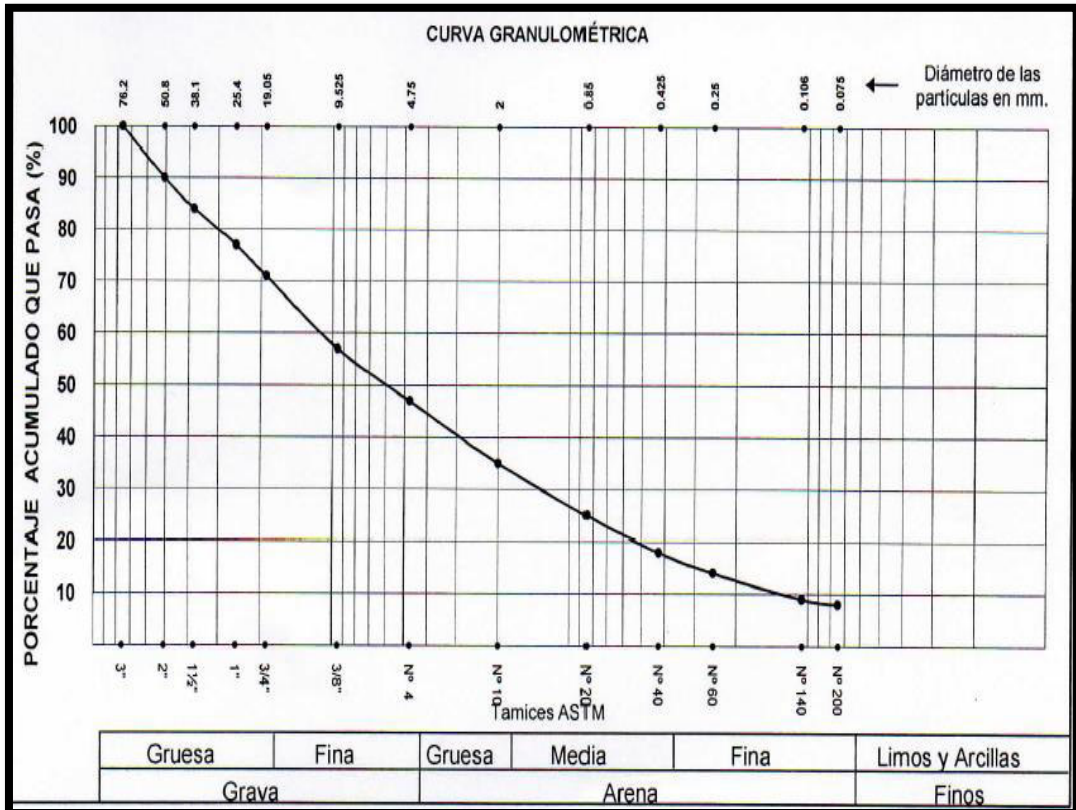
Para la evaluación del material suelo derivado en las calicatas, se ha realizado la pruebas en el estancia en el laboratorio de suelos (UNALM), la cual se ha realizado las pruebas para la determinación de la textura de suelo existente y la determinación de su resistencia primeramente se realizó el tamizado del material con el cual se elaboró la curva granulométrica mostrada en el cuadro N°15 y Figura N°16 , del cual obtenemos los coeficientes de uniformidad y curvatura del material traído de las calicatas que servirán de cimentación a la posible presa de tierra a diseñarse; de los valores analizados podemos decir que el suelo disponible para la cimentación corresponde a un GW_SM.

Tabla N° 22 Análisis granulométrico por tamizado para clasificación de suelos

| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO | | |
|---|-------------------------|------------------------------------|
| NTP 339.128 / ASTM - D 422 | | |
| MALLA | ABERTURA mm. | PORCENTAJE QUE PASA (%) |
| 3" | 76.20 | 100 |
| 2" | 50.80 | 90 |
| 1 ½" | 38.10 | 84 |
| 1" | 25.40 | 77 |
| ¾" | 19.05 | 71 |
| ⅜" | 9.525 | 57 |
| N° 4 | 4.750 | 47 |
| N° 10 | 2.000 | 35 |
| N° 20 | 0.850 | 25 |
| N° 40 | 0.425 | 18 |
| N° 60 | 0.250 | 14 |
| N° 140 | 0.106 | 9 |
| N° 200 | 0.075 | 8 |

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°38 Curva granulométrica



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 23 Límites de consistencia para clasificación de suelos

| LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318 | | |
|--|-----|-------|
| Límite líquido | (%) | 23.12 |
| Límite plástico | (%) | 22.01 |
| Índice plástico | (%) | 1.11 |
| Límite de contracción | (%) | - |
| Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282 | | |
| Coeficiente de : | | |
| -Uniformidad | | 64.32 |
| -Curvatura | | 3.75 |
| Material : | | |
| -Grava | % | 53 |
| -Arena | % | 39 |
| -Finos | % | 8 |
| Clasificación : | | |
| -AASHTO | | |
| -SUCS | | |
| Nombre de grupo: | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216 | | |
| Humedad natural (%) | | |

Fuente: Elaboración Propia

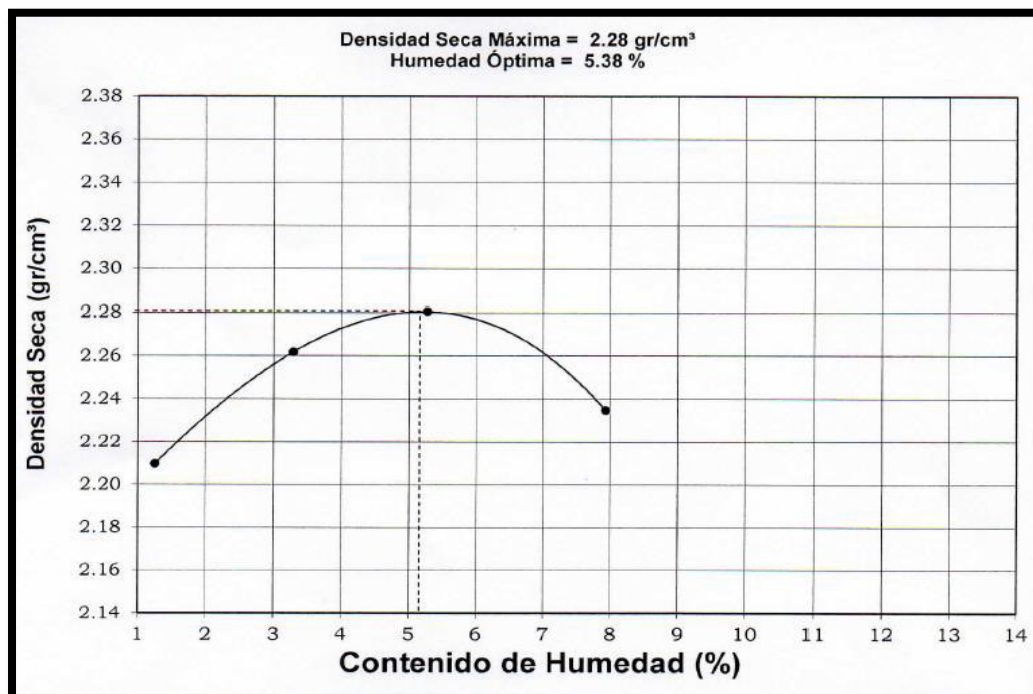
Así mismo se realizó la prueba de Proctor estándar con la finalidad de obtener parámetros que permitan una buena compactación al momento de la construcción de la presa Autisha; los resultados se muestran en el cuadro N°24 y Figura N° 39.

Tabla N° 24: Resultados de Prueba de Proctor estándar

| PROCTOR ESTANDAR-MTC - 115 - 200 "C" | | | | | |
|---------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|
| N° Capa | | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Golpes por capa N° | | 56 | 56 | 56 | 56 |
| Peso molde + suelo húmedo (gr) | | 11202 | 11412 | 11549 | 11573 |
| Peso de molde (gr) | | 6450 | 6450 | 6450 | 6450 |
| Peso del suelo húmedo (gr) | | 4752 | 4962 | 5099 | 5123 |
| Volumen del molde (cm ³) | | 2124 | 2124 | 2124 | 2124 |
| Densidad húmeda (gr/cm ³) | | 2.237 | 2.336 | 2.401 | 2.412 |
| Densidad seca (gr/cm ³) | | 2.21 | 2.26 | 2.28 | 2.23 |
| Tarro N° | | | | | |
| Tarro + Suelo húmedo (gr) | | 200.4 | 258.4 | 251.0 | 262.4 |
| Tarro + Suelo seco (gr) | | 198.3 | 252.1 | 240.2 | 245.5 |
| Peso del Agua (gr) | | 2.11 | 6.24 | 10.78 | 16.85 |
| Peso del tarro (gr) | | 29.54 | 62.35 | 35.64 | 32.97 |
| Peso del suelo seco (gr) | | 168.7 | 189.8 | 204.5 | 212.5 |
| Humedad (%) | | 1.25 | 3.29 | 5.27 | 7.93 |

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°39 Curva de densidad humedad Proctor estándar



Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

1. El método de pico secuencial permitió determinar el volumen de reserva solicitado para el vaso Autisha, ratificando un 99.6 % de garantía de revestimiento de la demanda en el tiempo y 99.3 % de garantía de revestimiento de la demanda en volumen.

2. La simulación hidrológica desarrollada a través del diseño WEAP ha permitido presentar adecuadamente el procedimiento hídrico natural de la cuenca Rímac hasta la terminal hidrométrica Autisha.

3. La cuenca analizada presenta elementos de flujo gradual con mínima expectativa de presentar crecidas súbitas. Así mismo, en la parte inferior se trasladó grandes volúmenes de sedimentos y donde hay probabilidad de generar crecientes durante épocas de lluvia.

4. Se obtuvieron resultados productivos en cuanto a la calibración y validación del diseño hidrológico en el punto de estación. Los señaladores de eficiencia en la fase de Calibración son: NASH con 0.77 y Pearson r con 0.91. Y los valores de la fase de Validación son: NASH con 0.86 y Pearson r con 0.93.

5. La Operación de la represa en el Vaso Autisha, aumentará la oferta hídrica en los meses de sequía de 5 a 9 m³/s en el periodo de estiaje.

RECOMENDACIONES

1. Considerar el método de pico secuencial como primera aproximación en la magnitud de la capacidad de almacenamiento de la represa. Este estudio permite empezar el modelo del reservorio confirmando que las demandas son abastecidas aún en la fase hidrológico más crítico.

2. Realizar un levantamiento topográfico del vaso para ratificar la información empleada en la presente tesis.

3. Realizar el diseño hidrológico en WEAP de todo el proceso hidráulico presente y proyectado. El cual permite optimizar el proceso de los múltiples reservorios de la parte media y alta de la cuenca.

4. Realizar estudios de filtración, elasticidad y portón modificado, para tener un mejor análisis de suelos.

5. Comparar las capacidades de almacenamiento máximas con el estudio de oferta a fin de poder satisfacerla.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas:

Estrela, Teodoro. (1992). *Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Alfonso XII, 3-28014 Madrid España

Ven Te Chow (1994). *Hidrología Aplicada*. Traducido por J.Saldarriaga de la primera edición en inglés. Santa Fe de Bogotá, Colombia. McGraw-Hill. p. 2-13.

Maidment, Dr. Cedex. (1993). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, Inc. Madrid, España

Universidad Nacional Agraria La Molina, Laboratorio de mecánica de suelos.

Electrónicas:

Ponce, VM. (1989). *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. Prentice <http://ponce.sdsu.edu/textbookhydrologyp389.html>

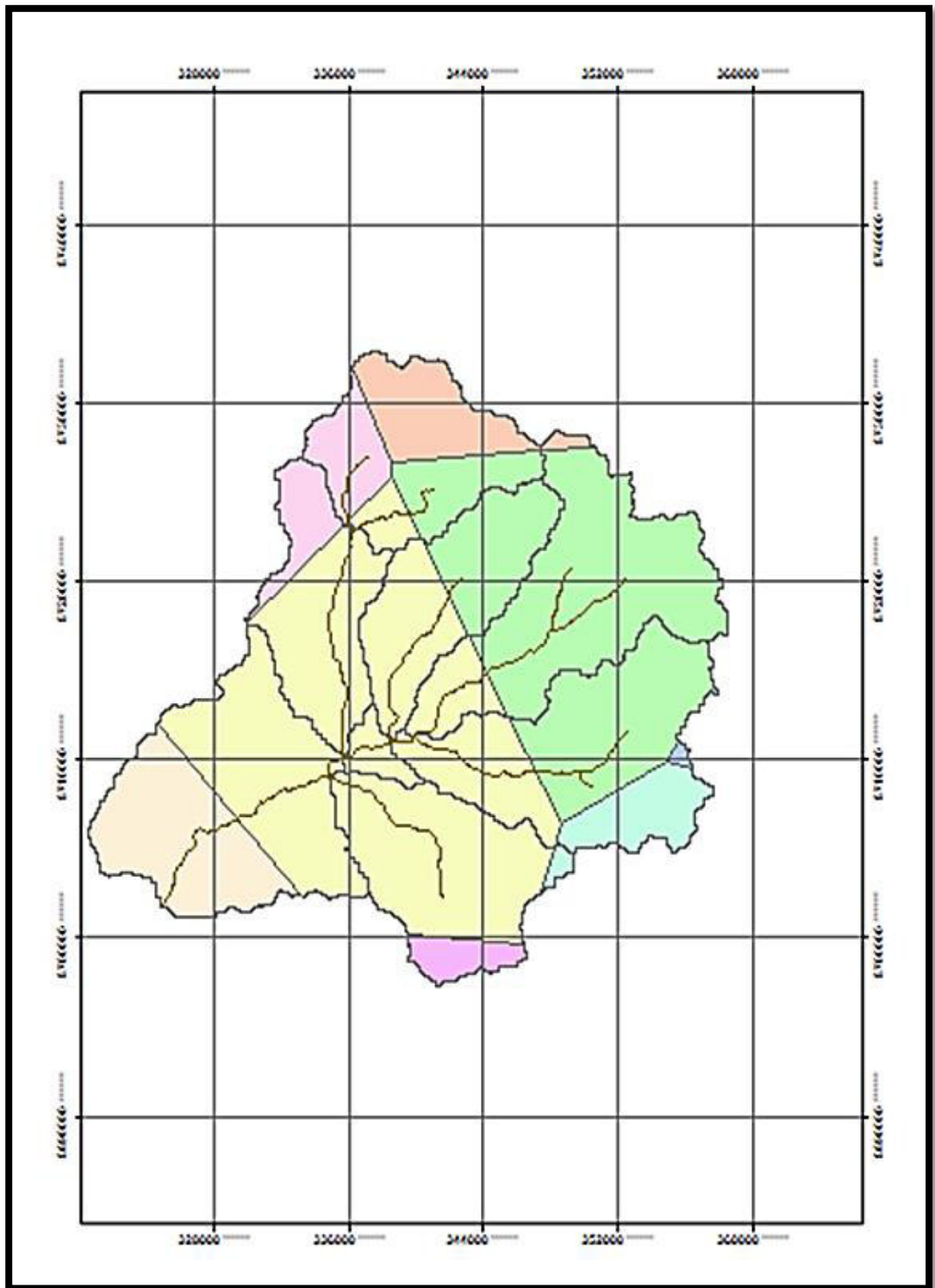
Universidad Católica de Chile, (2009). *Modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP*. CL. 86 p. (en línea). www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Página |
|---|--------|
| Anexo 1: | |
| Polígono de Thiessen con las estaciones de precipitaciones. | 86 |
| Anexo 2: | |
| Datos de las precipitaciones cuenca Rímac | 87 |
| Anexo 3: | |
| Datos de precipitaciones de Matucana | 87 |
| Datos de precipitaciones de Milloc | 88 |
| Datos de precipitaciones de Canchacaya | 88 |
| Datos de precipitaciones de Autisha | 89 |
| Datos de precipitaciones de Lachaqui | 89 |
| Datos de precipitaciones de Carampoma | 90 |
| Datos de precipitaciones de Casapalca | 90 |

ANEXO 1

Polígono de Thiessen con las estaciones de precipitaciones.



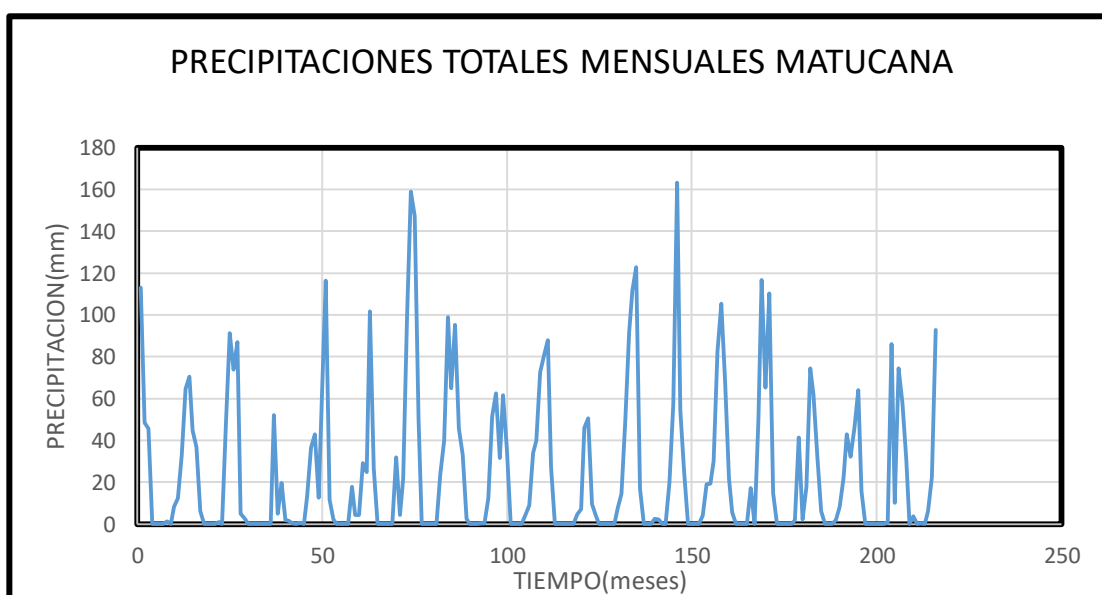
ANEXO 2

Datos de precipitaciones de la cuenca Rímac

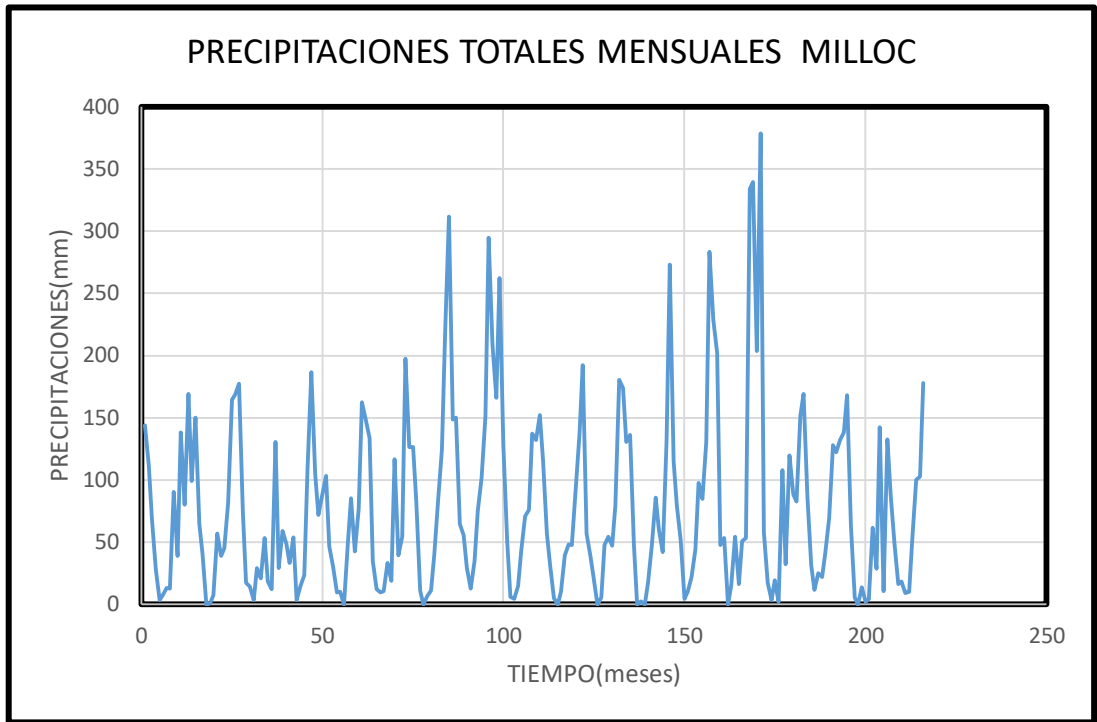
| FID_6_cuen | Shape_Leng | Shape_Area | HydroID | GridID | | | PESO | |
|------------|------------|------------|---------|--------|---|------------|-------|------------|
| 4 | 35.3366923 | 39.6893186 | 24 | 24 | | | 0.157 | |
| 0 | 28.0581982 | 24.548765 | 16 | 16 | | | 0.097 | |
| 3 | 73.8349078 | 116.455289 | 21 | 21 | | | 0.460 | |
| 7 | 45.7853068 | 72.5121104 | 35 | 35 | 0 | 253.205483 | 0.286 | MILLOC |
| 2 | 30.0767304 | 18.9869075 | 20 | 20 | | | 0.447 | |
| 0 | 25.6956623 | 23.4932592 | 16 | 16 | 1 | 42.4801666 | 0.553 | LACHAQUI |
| 10 | 44.4724862 | 71.1142326 | 40 | 40 | 2 | 71.1142326 | 1.000 | AUTISHA |
| 14 | 8.81541073 | 2.51603633 | 46 | 46 | | | 0.083 | |
| 7 | 30.1098792 | 27.7398525 | 35 | 35 | 3 | 30.2558888 | 0.917 | RIOBLANCO |
| 14 | 20.7809569 | 12.9550692 | 46 | 46 | 4 | 12.9550692 | 1.000 | CANCHACAYA |
| 0 | 34.3845472 | 39.134836 | 16 | 16 | | | 0.948 | |
| 3 | 8.63975337 | 2.14535948 | 21 | 21 | 5 | 41.2801955 | 0.052 | MARCA |
| 7 | 8.43848059 | 1.43607709 | 35 | 35 | 6 | 1.43607709 | 1.000 | CASAPALCA |
| 2 | 43.7543593 | 57.5227082 | 20 | 20 | | | 0.169 | |
| 4 | 34.2493591 | 39.7821255 | 24 | 24 | | | 0.117 | |
| 9 | 19.8282411 | 9.82983717 | 37 | 37 | | | 0.029 | |
| 14 | 49.066505 | 84.7674797 | 46 | 46 | | | 0.249 | |
| 0 | 16.2210737 | 9.765081 | 16 | 16 | | | 0.029 | |
| 3 | 23.9578802 | 18.4332929 | 21 | 21 | | | 0.054 | |
| 7 | 36.3395275 | 37.0543185 | 35 | 35 | | | 0.109 | |
| 10 | 56.0639877 | 83.3215255 | 40 | 40 | 7 | 340.476368 | 0.245 | CARAMPOMA |

ANEXO 3

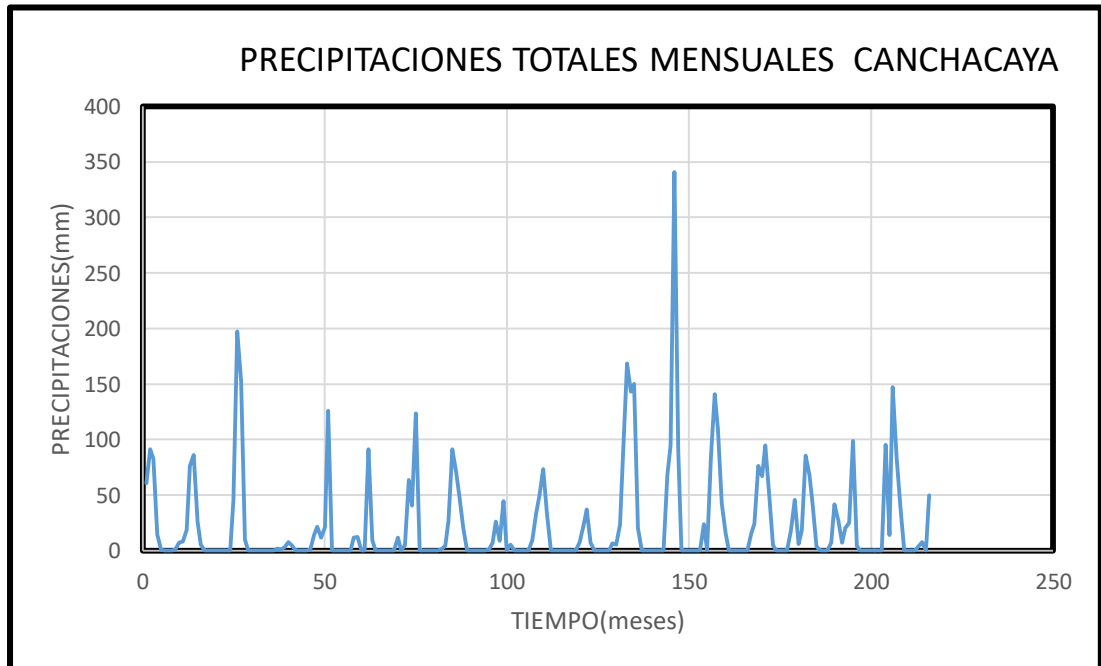
Datos de precipitaciones de Matucana



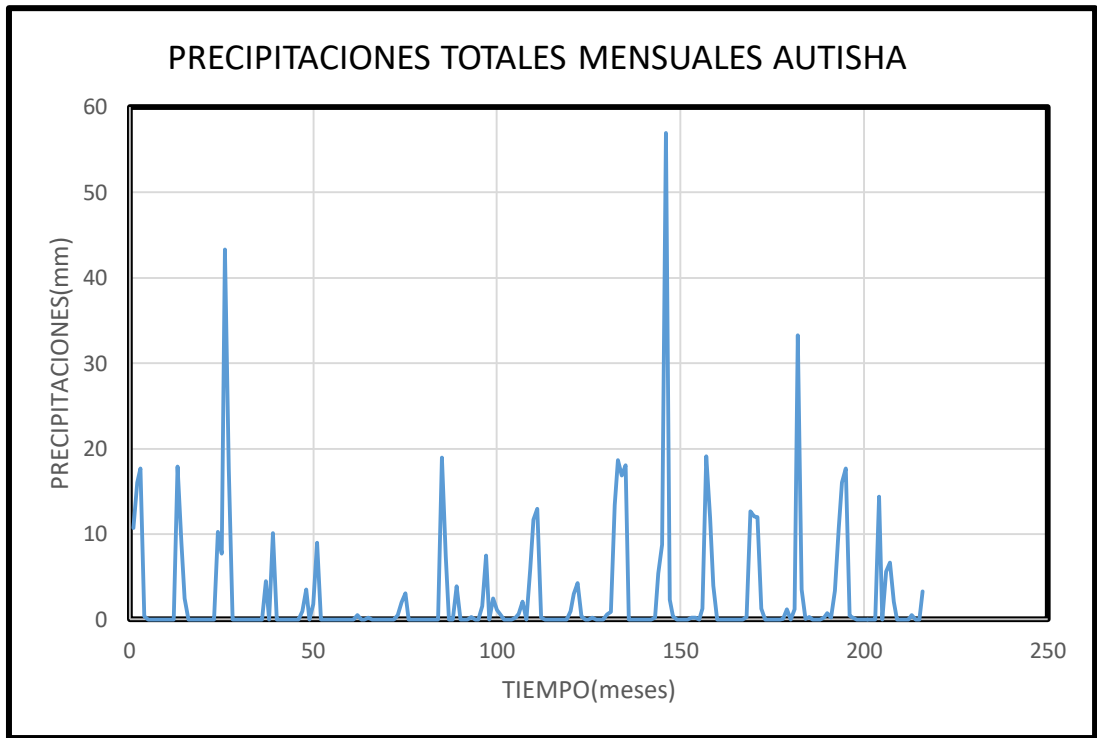
Datos de precipitaciones Milloc



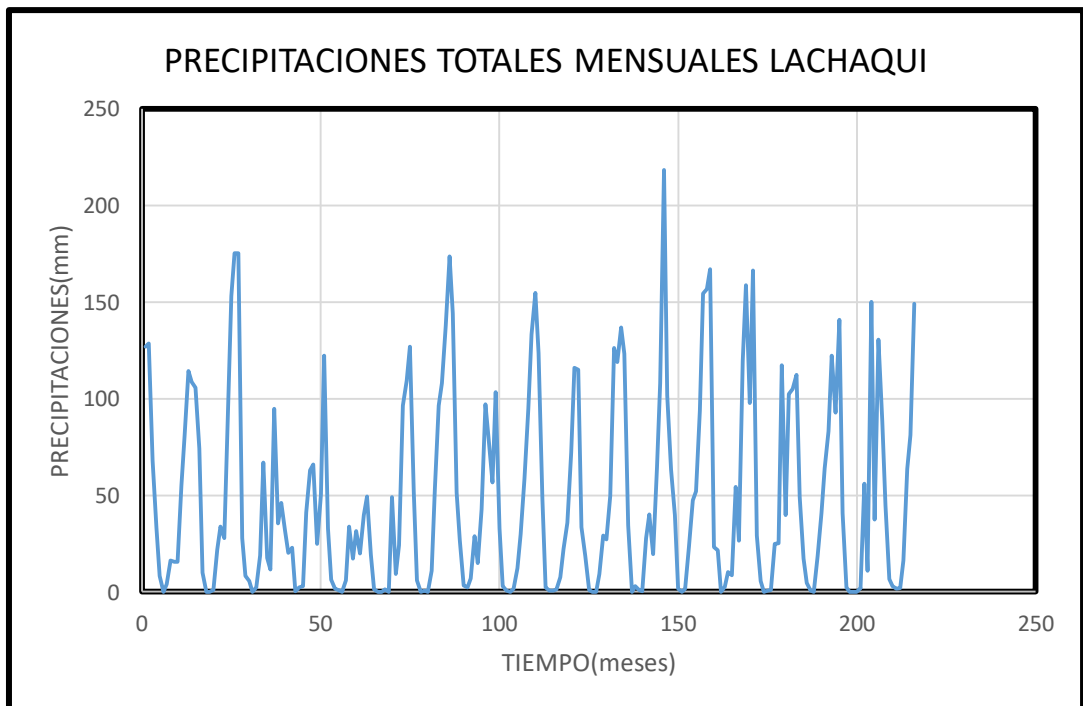
Datos de precipitaciones de Canchacaya



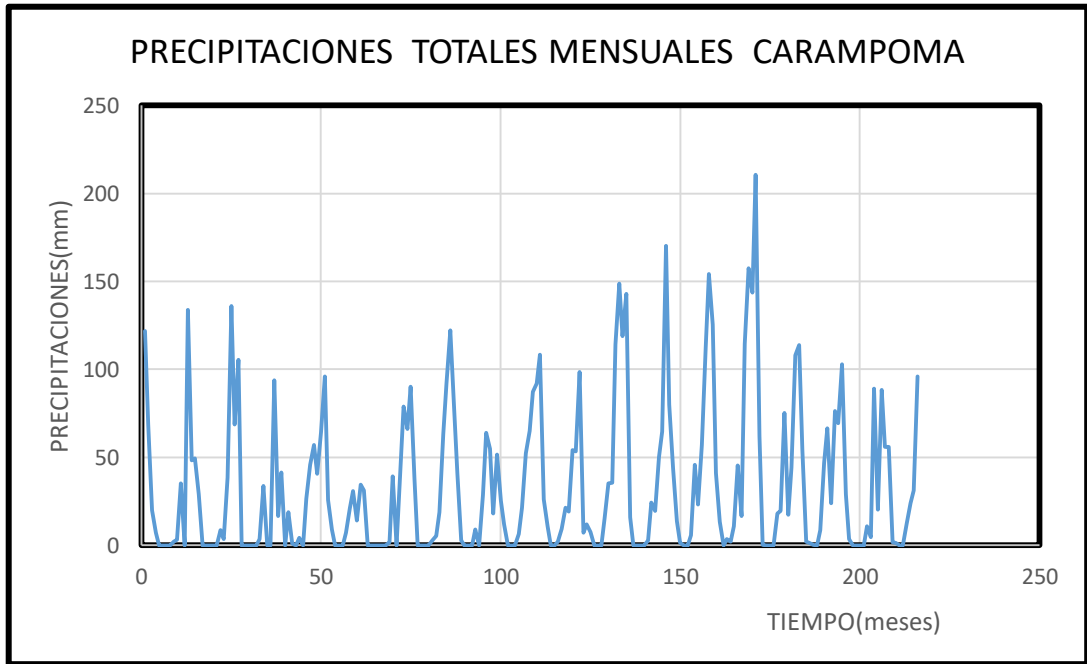
Datos de precipitaciones de Autisha



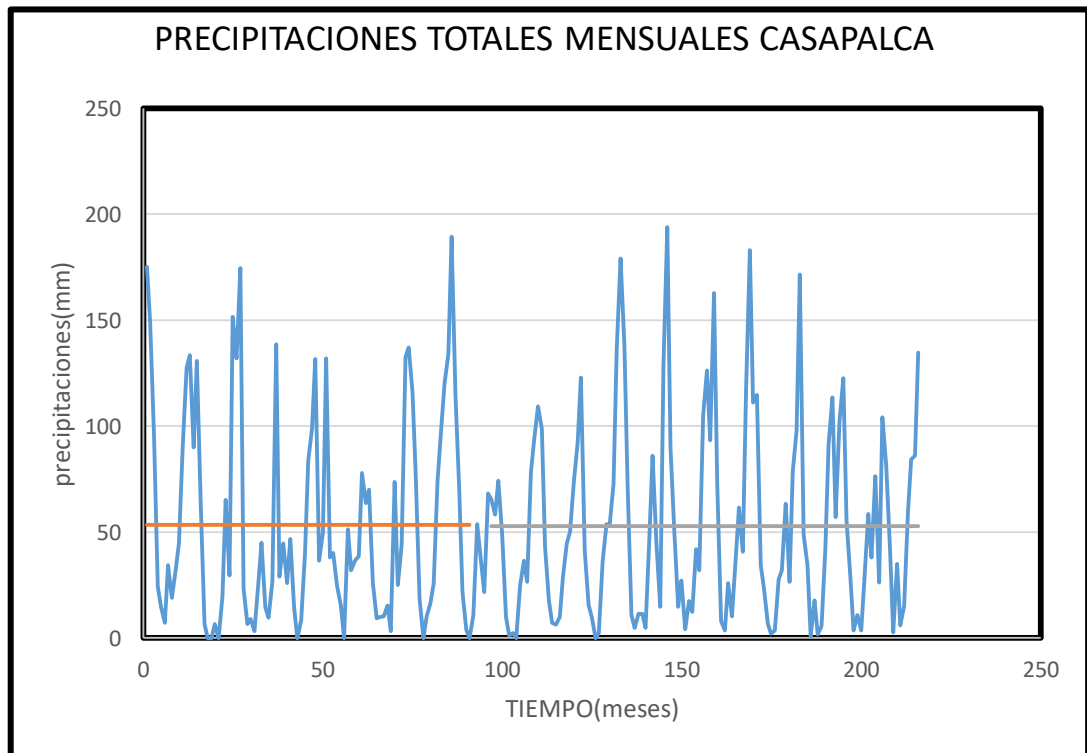
Datos de precipitaciones de Lachaqui



Datos de precipitaciones de Carampoma



Datos de precipitaciones de Casapalca



FOTOGRAFÍAS

Fotografía N°1. Autisha, tomada desde el nivel del río



Fotografía N°2. Autisha, tomada desde la parte superior



Fotografía N°3. Autisha, Inicio de Calicata.



Fotografía N°4. Autisha, Excavación de Calicata.



Fotografía N°5: Autisha, Excavación de Calicata.



Fotografía N°6: Autisha, muestra de Calicata .

