

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura, Ingenierías Civil y del Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**“PRE-DISEÑO PRESA DE TIERRA- CUENCA QUEUÑAMAYO - DISTRITO DE  
SANTO TOMÁS - PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - DEPARTAMENTO DE  
CUSCO-2022”**

Tesis presentada por los Bachilleres:

**Gómez Azcue, Rodrigo**

**Pilco Álvarez, Julio Armando**

Para optar el Título profesional de:

Ingeniero Civil

**Asesor:**

**Mg. Arroyo Ambia, Arturo**

**Arequipa- Perú**

**2023**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA CIVIL**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 22 de Diciembre del 2022

**Dictamen: 003587-C-EPIC-2022**

Visto el borrador del expediente 003587, presentado por:

**2015201271 - GOMEZ AZCUE RODRIGO**

**2014222171 - PILCO ALVAREZ JULIO ARMANDO**

Titulado:

**PRE-DISEÑO PRESA DE TIERRA - CUENCA QUEUÑAMAYO - DISTRITO DE SANTO TOMÁS -  
PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - DEPARTAMENTO DEL CUSCO -2022**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**29688899 - HIDALGO VALDIVIA ALEJANDRO VICTOR  
DICTAMINADOR**



**29329377 - NEIRA ARENAS JULY LILIAM  
DICTAMINADOR**



**43673910 - NORIEGA AQUISE GUILLERMO YOREL  
DICTAMINADOR**



### **DEDICATORIA**

A mi madre “Liliana Sebastiana Azcue Zúñiga”, que desde lo alto del cielo me cuida y protege y que mientras estuvo en vida siempre me estuvo alentando en mis momentos de flaqueza a continuar con mi desarrollo profesional. Todo esto es para ti madre, te amo y siempre lo haré hasta el último día de mi vida.

Rodrigo Gómez Azcue

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis familiares quienes fueron un gran apoyo emocional durante el tiempo que escribía esta tesis.

A mis padres quienes me apoyaron todo el tiempo.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

A los jurados quienes estudiaron mi tesis y la aprobaron.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

Julio Armando Pilco Álvarez

## AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios, que sin él nada de esto fuese posible. Un agradecimiento especial a mi padre Héctor Washington Gómez Villa, quien es el creador de la idea de este proyecto que espero algún día se haga realidad. Y finalmente pero no por ello menos importante, a mi madre, que hace poco partió al cielo y hasta en sus últimos días a pesar de su precario estado de salud se preocupó para que esto pudiera ser una realidad. Infinitas gracias, ruego a Dios me alcance la vida para agradecer todo lo que hicieron y hacen por mí, así como poder alcanzar todas mis metas y sueños.

Rodrigo Gómez Azcue

## AGRADECIMIENTO

A mis padres

En primer lugar, les agradezco a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos

son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos.

También nuestro asesor

“Le agradezco muy profundamente a mi asesor por su dedicación y paciencia, sin sus

palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre

en la memoria en mi futuro profesional”.

A todos mis docentes

“Son muchos los docentes que han sido parte de mi camino universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Sin ustedes los conceptos serían sólo palabras, y las palabras ya sabemos quién se las lleva, el viento”.

Julio Armando Pilco Álvarez

## ÍNDICE GENERAL

Pág.

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| DEDICATORIA .....                            | ii  |
| DEDICATORIA .....                            | iii |
| AGRADECIMIENTO .....                         | iv  |
| AGRADECIMIENTO .....                         | v   |
| ÍNDICE GENERAL .....                         | vi  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                       | x   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                      | xii |
| RESUMEN .....                                | xv  |
| ABSTRACT.....                                | xvi |
| INTRODUCCIÓN .....                           | xxi |
| CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... | 1   |
| 1.1. Diagnóstico Situacional .....           | 1   |
| 1.2. Formulación del Problema.....           | 2   |
| 1.2.1. Problema General.....                 | 3   |
| 1.2.2. Problemas Específicos. ....           | 3   |
| 1.3. Hipótesis .....                         | 4   |
| 1.3.1. Hipótesis Específicas. ....           | 4   |
| 1.4. Variables .....                         | 4   |

vi

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.1. Definición conceptual de las variables. ....               | 5  |
| 1.4.2. Definición operacional de las variables. ....              | 6  |
| 1.4.3. Operacionalización de las variables.....                   | 7  |
| 1.5. Objetivos.....                                               | 9  |
| 1.5.1. Objetivo General.....                                      | 9  |
| 1.5.2. Objetivos Específicos.....                                 | 9  |
| CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....                             | 10 |
| 2.1. Marco Legal.....                                             | 10 |
| 2.2. Marco Teórico.....                                           | 10 |
| 2.2.1. Estudio Hidrológico de la cuenca. ....                     | 10 |
| 2.2.2. Análisis Estadístico.....                                  | 15 |
| 2.2.3. Topografía.....                                            | 28 |
| 2.2.4. Informe de mecánica de Suelos. ....                        | 29 |
| 2.2.5. Pre dimensionamiento y diseño hidráulico de la presa. .... | 30 |
| 2.3. Marco Histórico .....                                        | 47 |
| 2.4. Antecedentes .....                                           | 51 |
| 2.5. Estado del Arte.....                                         | 54 |
| CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....                                     | 58 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Tipo de Investigación.....                                   | 58 |
| 3.1.1. Según el propósito.....                                    | 58 |
| 3.1.2. Según el nivel de conocimiento. ....                       | 59 |
| 3.1.3. Según la estrategia. ....                                  | 60 |
| 3.2. Campo de Verificación .....                                  | 61 |
| 3.2.1. Unidad de estudio. ....                                    | 61 |
| 3.2.2. Población.....                                             | 61 |
| 3.2.3. Ubicación.....                                             | 61 |
| 3.3. Población y Muestra .....                                    | 62 |
| 3.3.1. Población.....                                             | 62 |
| 3.3.2. Muestra. ....                                              | 62 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de Datos.....    | 62 |
| 3.4.1. Instrumentos para la recolección y registro de datos. .... | 62 |
| 3.4.2. Técnicas para la recolección de datos. ....                | 63 |
| Capítulo 4: Resultados .....                                      | 68 |
| 4.1. Análisis de los Resultados .....                             | 68 |
| 4.1.1. Información básica de la zona de estudio. ....             | 68 |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.2. Ubicación y delimitación de la Cuenca. ....           | 69  |
| 4.1.3. Estudio hidrológico. ....                             | 73  |
| 4.1.4 Estudio de la topografía en el vaso de la cuenca. .... | 186 |
| 4.1.5. Estudio de Mecánica de Suelos (Hoja resumen).....     | 192 |
| 4.1.6. Prediseño de la presa de tierra .....                 | 202 |
| 4.2. Discusión de los resultados.....                        | 247 |
| CONCLUSIONES .....                                           | 250 |
| RECOMENDACIONES.....                                         | 252 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                             | 254 |
| ANEXOS .....                                                 | 258 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                 | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables.....                                                            | 7    |
| <b>Tabla 2.</b> Dotación mínima según región .....                                                              | 21   |
| <b>Tabla 3.</b> Coordenadas UTM de la cuenca Queuñamayo .....                                                   | 70   |
| <b>Tabla 4.</b> Elevaciones y áreas para curvas hipsométricas.....                                              | 79   |
| <b>Tabla 5.</b> Áreas y porcentajes acumuladas.....                                                             | 80   |
| <b>Tabla 6.</b> Cálculo de elevación media.....                                                                 | 81   |
| <b>Tabla 7.</b> Puntos para perfil longitudinal .....                                                           | 83   |
| <b>Tabla 8.</b> Puntos de pendiente de cauce.....                                                               | 84   |
| <b>Tabla 9.</b> Precipitaciones Estación Santo Tomás automática .....                                           | 87   |
| <b>Tabla 10.</b> Precipitaciones máximas estación Santo Tomás automática.....                                   | 88   |
| <b>Tabla 11.</b> Precipitaciones Estación Santo Tomás convencional .....                                        | 90   |
| <b>Tabla 12.</b> Precipitaciones máximas Estación Santo Tomás convencional .....                                | 90   |
| <b>Tabla 13.</b> Precipitaciones Estación Marca Cunka .....                                                     | 93   |
| <b>Tabla 14.</b> Precipitaciones máximas estación de Marca Cunka.....                                           | 94   |
| <b>Tabla 15.</b> Precipitaciones Estación Visca Visca.....                                                      | 96   |
| <b>Tabla 16.</b> Precipitaciones máximas estación Visca Visca.....                                              | 97   |
| <b>Tabla 17.</b> Datos obtenidos en los promedios de las estaciones Santo Tomás automático y convencional ..... | 98   |
| <b>Tabla 18.</b> Datos obtenidos de los promedios de las estaciones de Marca Cunka y Visca Visca 99             |      |
| <b>Tabla 19.</b> Desviación estándar (consistencia en la media) Estación Santo Tomas convencional .....         | 105  |
| <b>Tabla 20.</b> Consistencia en la desviación estándar .....                                                   | 106  |
| <b>Tabla 21.</b> Desviación estándar (consistencia en la media) Estación Santo Tomás Automático .....           | 106  |
| <b>Tabla 22.</b> Consistencia en la desviación estándar estación Santo Tomás automático.....                    | 106  |
| <b>Tabla 23.</b> Desviación estándar (consistencia en la media) Estación Visca Visca .....                      | 107  |
| <b>Tabla 24.</b> Consistencia en la desviación estándar estación Visca Visca .....                              | 107  |
| <b>Tabla 25.</b> Consistencia en la desviación estándar estación Marca Cunka.....                               | 108  |
| <b>Tabla 26.</b> Consistencia en la desviación estándar estación Marca Cunka.....                               | 108  |
| <b>Tabla 27.</b> Tendencia en la media.....                                                                     | 110  |
| <b>Tabla 28.</b> Tendencia en la media en la estación Santo Tomás Automática.....                               | 110  |
| <b>Tabla 29.</b> Tendencia en la media estación Visca Visca.....                                                | 111  |
| <b>Tabla 30.</b> Tendencia en la media estación Marca Cunka .....                                               | 111  |
| <b>Tabla 31.</b> Precipitaciones promedio completadas de la Estación Santo Tomás Convencional                   | 115  |
| <b>Tabla 32.</b> Precipitaciones máximas mensuales en la estación Santo Tomás Convencional.....                 | 116  |
| <b>Tabla 33.</b> Precipitación promedio estación Santo Tomás Automática .....                                   | 118  |
| <b>Tabla 34.</b> Precipitaciones máximas estación Santo Tomás automática.....                                   | 119  |
| <b>Tabla 35.</b> Precipitaciones promedio estación Visca Visca .....                                            | 120  |
| <b>Tabla 36.</b> Precipitaciones máximas estación Visca Visca.....                                              | 121  |
| <b>Tabla 37.</b> Precipitaciones promedio estación Marca Cunka.....                                             | 122  |
| <b>Tabla 38.</b> Precipitaciones máximas estación Marca Cunka .....                                             | 123  |
| <b>Tabla 39.</b> Precipitación promedio con el método del polígono de Thiessen .....                            | 124  |
| <b>Tabla 40.</b> Metodología Polígono de Thiessen .....                                                         | 125  |
| <b>Tabla 41.</b> Promedios del polígono.....                                                                    | 125  |
| <b>Tabla 42.</b> Oferta Hídrica neta .....                                                                      | 127  |
| <b>Tabla 43.</b> Cálculo en condiciones húmedas III .....                                                       | 128  |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 44.</b> Resumen de infiltraciones calculados por mes.....                        | 128 |
| <b>Tabla 45.</b> Temperatura promedio del 2001 al 2021 .....                              | 129 |
| <b>Tabla 46.</b> Temperaturas promedio (Máxima y mínima) .....                            | 130 |
| <b>Tabla 47.</b> Método Thorwaite ETP .....                                               | 132 |
| <b>Tabla 48.</b> <i>Thornwaite calculado para todos los meses</i> .....                   | 133 |
| <b>Tabla 49.</b> Profundidad radicular .....                                              | 149 |
| <b>Tabla 50.</b> Balance hídrico.....                                                     | 157 |
| <b>Tabla 51.</b> Análisis de precipitaciones máximas .....                                | 160 |
| <b>Tabla 52.</b> Análisis de precipitaciones máximas .....                                | 161 |
| <b>Tabla 53.</b> Precipitación promedio con el método del polígono de Thyssen .....       | 162 |
| <b>Tabla 54.</b> Precitaciones máximas cuenca Queuñamayo .....                            | 162 |
| <b>Tabla 55.</b> Número de unidades de observación vs Factor de ajuste .....              | 165 |
| <b>Tabla 56.</b> Precipitación máxima en cuenca Queuñamayo .....                          | 165 |
| <b>Tabla 57.</b> Estación y promedio (P.max, P).....                                      | 167 |
| <b>Tabla 58.</b> Distribución Normal.....                                                 | 168 |
| <b>Tabla 59.</b> Distribución LogNormal II.....                                           | 169 |
| <b>Tabla 60.</b> Distribución Gumbel (extrema tipo I) .....                               | 170 |
| <b>Tabla 61.</b> Distribución Pearson III .....                                           | 172 |
| <b>Tabla 62.</b> Distribución LogPearson III .....                                        | 173 |
| <b>Tabla 63.</b> Prueba de bondad de ajuste Smirnov- Kolmogorov.....                      | 174 |
| <b>Tabla 64.</b> Distribución elegido tipo Pearson III .....                              | 175 |
| <b>Tabla 65.</b> Métodos según duración de lluvia.....                                    | 177 |
| <b>Tabla 66.</b> Intensidades máximas .....                                               | 178 |
| <b>Tabla 67.</b> Datos para el hietograma de bloques alternos .....                       | 183 |
| <b>Tabla 68.</b> Datos resultantes de la excavación de las calicatas .....                | 192 |
| <b>Tabla 69.</b> Análisis granulométrico .....                                            | 193 |
| <b>Tabla 70.</b> Determinación de la densidad seca y la densidad aparente (húmeda).....   | 195 |
| <b>Tabla 71.</b> Propiedades del coeficiente de permeabilidad y ángulo de corte .....     | 195 |
| <b>Tabla 72.</b> Gradación que pasa en peso .....                                         | 197 |
| <b>Tabla 73.</b> Cuerpo preso vs Características .....                                    | 198 |
| <b>Tabla 74.</b> Datos obtenidos para agotamiento inicial .....                           | 199 |
| <b>Tabla 75.</b> Coordenadas en las calicatas y dique .....                               | 200 |
| <b>Tabla 76.</b> Datos de curva atura- área- volumen.....                                 | 205 |
| <b>Tabla 77.</b> Métodos para análisis de estabilidad de taludes .....                    | 212 |
| <b>Tabla 78.</b> Factores de seguridad mínimos .....                                      | 213 |
| <b>Tabla 79.</b> Cálculo del factor de seguridad contra el deslizamiento de taludes ..... | 222 |
| <b>Tabla 80.</b> Dimensiones de vertedero tipo abanico. ....                              | 231 |
| <b>Tabla 81.</b> Diseño de canales .....                                                  | 232 |
| <b>Tabla 82.</b> Características hidráulicas.....                                         | 233 |
| <b>Tabla 83.</b> Características geométricas del canal de aliviadero .....                | 233 |
| <b>Tabla 84.</b> Tubería de descarga.....                                                 | 234 |
| <b>Tabla 85.</b> Resultados para la velocidad de propagación de fluido .....              | 236 |
| <b>Tabla 86.</b> Relación entre diámetro de partículas y Vs. ....                         | 242 |
| <b>Tabla 87.</b> Diseño de cámara Rompepresión .....                                      | 246 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                       | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figura 1.</b> Valores críticos Smirnov- Kolmogorov .....                                                                           | 26   |
| <b>Figura 2.</b> Volumen útil, altura de la presa .....                                                                               | 35   |
| <b>Figura 3.</b> Modelo de predimensionamiento de la presa de tierra .....                                                            | 36   |
| <b>Figura 4.</b> Modelo de curva, área y volumen.....                                                                                 | 37   |
| <b>Figura 5.</b> Empuje hidrostático .....                                                                                            | 43   |
| <b>Figura 6.</b> Gráfico y tabla de acceso y servicios básicos en Chumbivilcas .....                                                  | 49   |
| <b>Figura 7.</b> Gráfico de acceso a servicios básicos por distritos en Chumbivilcas .....                                            | 50   |
| <b>Figura 8.</b> Tabla de acceso a servicios de salud por distritos en Chumbivilcas.....                                              | 50   |
| <b>Figura 9.</b> Tabla de índice de desarrollo por distritos en Chumbivilcas .....                                                    | 50   |
| <b>Figura 10.</b> Inspección y reconocimiento del lugar .....                                                                         | 64   |
| <b>Figura 11.</b> Levantamiento topográfico .....                                                                                     | 65   |
| <b>Figura 12.</b> Extracción de muestra en la calicata.....                                                                           | 65   |
| <b>Figura 13.</b> Extracción de muestras en la calicata .....                                                                         | 66   |
| <b>Figura 14.</b> Ubicación geográfica del departamento de Cusco, Perú .....                                                          | 68   |
| <b>Figura 15.</b> Ubicación de la provincia de Chumbivilcas con sus distritos.....                                                    | 69   |
| <b>Figura 16.</b> Delimitación de la cuenca (polígono).....                                                                           | 71   |
| <b>Figura 17.</b> Delimitación de la cuenca (ríos ubicados de acuerdo a la zona) .....                                                | 72   |
| <b>Figura 18.</b> Delimitación de la cuenca con la ubicación del dique .....                                                          | 72   |
| <b>Figura 19.</b> Área de la cuenca proyectada .....                                                                                  | 74   |
| <b>Figura 20.</b> Área de la influencia de la cuenca .....                                                                            | 74   |
| <b>Figura 21.</b> Forma de la cuenca .....                                                                                            | 75   |
| <b>Figura 22.</b> Pendiente de la cuenca en civil 3D .....                                                                            | 78   |
| <b>Figura 23.</b> Curva Hipsométrica .....                                                                                            | 80   |
| <b>Figura 24.</b> Frecuencia de altitudes .....                                                                                       | 81   |
| <b>Figura 25.</b> Perfil longitudinal del cauce .....                                                                                 | 83   |
| <b>Figura 26.</b> Ubicación de estación Santo Tomás automático .....                                                                  | 86   |
| <b>Figura 27.</b> Estación Santo Tomás convencional .....                                                                             | 89   |
| <b>Figura 28.</b> Estación Marca Cunka .....                                                                                          | 92   |
| <b>Figura 29.</b> Estación Visca Visca .....                                                                                          | 95   |
| <b>Figura 30.</b> Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás Convencional vs<br>estación Santo Tomás Automática ..... | 100  |
| <b>Figura 31.</b> Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás Convencional vs<br>estación Marca Cunka .....            | 101  |
| <b>Figura 32.</b> Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás Convencional vs<br>estación Visca Visca .....            | 101  |
| <b>Figura 33.</b> Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás automática vs<br>estación Marca Cunka .....              | 102  |
| <b>Figura 34.</b> Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás automática vs<br>estación Visca Visca .....              | 102  |
| <b>Figura 35.</b> Comparación de la curva doble masa de estación Marca Cunka vs estación Visca<br>Visca.....                          | 103  |
| <b>Figura 36.</b> Curva base obtenida.....                                                                                            | 103  |
| <b>Figura 37.</b> Curva Promedio doble masa .....                                                                                     | 104  |
| <b>Figura 38.</b> Gráfico de tendencia en la desviación media.....                                                                    | 109  |
| <b>Figura 39.</b> Tendencia en la desviación estándar- Estación Santo Tomás convencional .....                                        | 112  |
| <b>Figura 40.</b> Tendencia en la desviación estándar- Estación Santo Tomás automática .....                                          | 112  |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 41.</b> Tendencia en la desviación estándar- Estación Marca Cunka .....         | 113 |
| <b>Figura 42.</b> Tendencia en la desviación estándar- Estación Visca Visca .....         | 113 |
| <b>Figura 43.</b> Gráfico de regresión simple (ejemplo mes de enero) .....                | 117 |
| <b>Figura 44.</b> Polígono de Thiessen .....                                              | 124 |
| <b>Figura 45.</b> Precipitación promedio mensual multianual.....                          | 126 |
| <b>Figura 46.</b> Histograma de promedios .....                                           | 126 |
| <b>Figura 47.</b> Cuadro de números de Curva.....                                         | 127 |
| <b>Figura 48.</b> Índice de temperatura .....                                             | 131 |
| <b>Figura 49.</b> Temperatura promedio mensual año promedio .....                         | 131 |
| <b>Figura 50.</b> Gráfico de población por distritos en Chumbivilcas.....                 | 134 |
| <b>Figura 51.</b> Gráfico de la población de la DIRESA Cusco, por edades.....             | 135 |
| <b>Figura 52.</b> Tabla de dotación de agua según opción de saneamiento.....              | 136 |
| <b>Figura 53.</b> Datos de Cropwat .....                                                  | 138 |
| <b>Figura 54.</b> Datos para obtención de precipitación efectiva .....                    | 139 |
| <b>Figura 55.</b> Artículo 56 de la FAO .....                                             | 140 |
| <b>Figura 56.</b> Artículo 56 de la FAO, parte 2 .....                                    | 140 |
| <b>Figura 57.</b> Coeficientes estacionales .....                                         | 141 |
| <b>Figura 58.</b> Datos de cultivo .....                                                  | 141 |
| <b>Figura 59.</b> Datos del mes de enero .....                                            | 142 |
| <b>Figura 60.</b> Datos del mes de febrero .....                                          | 142 |
| <b>Figura 61.</b> Datos del mes de marzo .....                                            | 143 |
| <b>Figura 62.</b> Datos del mes de abril.....                                             | 143 |
| <b>Figura 63.</b> Datos del mes de mayo .....                                             | 144 |
| <b>Figura 64.</b> Datos del mes de junio.....                                             | 144 |
| <b>Figura 65.</b> Datos del mes de Julio .....                                            | 145 |
| <b>Figura 66.</b> Datos del mes de agosto .....                                           | 145 |
| <b>Figura 67.</b> Datos del mes de septiembre .....                                       | 146 |
| <b>Figura 68.</b> Datos del mes de octubre .....                                          | 146 |
| <b>Figura 69.</b> Datos del mes de noviembre.....                                         | 147 |
| <b>Figura 70.</b> Datos del mes de diciembre.....                                         | 147 |
| <b>Figura 71.</b> Ábaco de factor de agotamiento (p) para diferentes niveles de ETO ..... | 148 |
| <b>Figura 72.</b> Programa Soil water characteristics.....                                | 149 |
| <b>Figura 73.</b> Características del suelo .....                                         | 150 |
| <b>Figura 74.</b> Resultados de enero .....                                               | 150 |
| <b>Figura 75.</b> Resultados de febrero.....                                              | 151 |
| <b>Figura 76.</b> Resultados de marzo .....                                               | 151 |
| <b>Figura 77.</b> Resultados de abril.....                                                | 152 |
| <b>Figura 78.</b> Resultados de mayo .....                                                | 152 |
| <b>Figura 79.</b> Resultados de junio.....                                                | 153 |
| <b>Figura 80.</b> Resultado de julio .....                                                | 153 |
| <b>Figura 81.</b> Resultados de agosto.....                                               | 154 |
| <b>Figura 82.</b> Resultados de septiembre .....                                          | 154 |
| <b>Figura 83.</b> Resultados de Octubre .....                                             | 155 |
| <b>Figura 84.</b> Resultados de noviembre.....                                            | 155 |
| <b>Figura 85.</b> Resultados de diciembre .....                                           | 155 |
| <b>Figura 86.</b> Oferta vs demanda acumulativa.....                                      | 159 |
| <b>Figura 87.</b> Cuadro de valores K para prueba de datos dudosos .....                  | 164 |
| <b>Figura 88.</b> Máximos anuales .....                                                   | 164 |

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 89.</b> Gráfico de distribución Pearson III.....                                          | 175 |
| <b>Figura 90.</b> Ejemplo de duración de la precipitación en horas .....                            | 176 |
| <b>Figura 91.</b> Cálculo de ecuaciones de regresión múltiple.....                                  | 178 |
| <b>Figura 92.</b> Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).....                             | 180 |
| <b>Figura 93.</b> Hietograma de bloques alternos 24 h.....                                          | 184 |
| <b>Figura 94.</b> Ubicación de la población de Santo Tomás.....                                     | 186 |
| <b>Figura 95.</b> Fotografía del vaso de la cuenca.....                                             | 187 |
| <b>Figura 96.</b> Fotografía del vaso de la cuenca (ubicación del dique).....                       | 187 |
| <b>Figura 97.</b> Fotografía del vaso de la cuenca (Presencia de sedimentos de roca).....           | 188 |
| <b>Figura 98.</b> Vaso de la cuenca, afluente principal .....                                       | 188 |
| <b>Figura 99.</b> Levantamiento topográfico de la zona del área del vaso de la cuenca .....         | 189 |
| <b>Figura 100.</b> Levantamiento topográfico de la zona del área de la cuenca.....                  | 189 |
| <b>Figura 101.</b> Plano Topográfico del vaso de la cuenca.....                                     | 191 |
| <b>Figura 102.</b> Datos de la muestra.....                                                         | 199 |
| <b>Figura 103.</b> Plano de Calicatas.....                                                          | 201 |
| <b>Figura 104.</b> Curva de capacidad y área .....                                                  | 204 |
| <b>Figura 105.</b> Cálculo del borde libre.....                                                     | 207 |
| <b>Figura 106.</b> Datos para el cálculo de ancho de corona con fórmula empírica.....               | 208 |
| <b>Figura 107.</b> Diagrama de cuerpo libre de la presa vacía .....                                 | 211 |
| <b>Figura 108.</b> Modelo bidimensional de presa .....                                              | 214 |
| <b>Figura 109.</b> Presa vacía con sismo agua arriba Bishop .....                                   | 214 |
| <b>Figura 110.</b> Presa vacía con sismo aguas arriba Jambu .....                                   | 215 |
| <b>Figura 111.</b> Presa llena con sismo aguas arriba Bishop .....                                  | 215 |
| <b>Figura 112.</b> Presa llena con sismo aguas arriba Jambu .....                                   | 216 |
| <b>Figura 113.</b> Presa llena sin sismo aguas arriba Bishop .....                                  | 216 |
| <b>Figura 114.</b> Presa llena sin sismo aguas arriba Jambu .....                                   | 217 |
| <b>Figura 115.</b> Presa vacía sin sismo aguas arriba Bishop.....                                   | 217 |
| <b>Figura 116.</b> Presa vacía sin sismo aguas arriba Jambu .....                                   | 218 |
| <b>Figura 117.</b> Presa vacía con sismo aguas abajo Bishop .....                                   | 218 |
| <b>Figura 118.</b> Presa vacía con sismo aguas abajo Jambu.....                                     | 219 |
| <b>Figura 119.</b> Presa llena sin sismo aguas abajo Bishop.....                                    | 219 |
| <b>Figura 120.</b> Presa llena sin sismo aguas abajo Jambu.....                                     | 220 |
| <b>Figura 121.</b> Presa llena con sismo aguas abajo Bishop.....                                    | 220 |
| <b>Figura 122.</b> Presa llena con sismo aguas abajo Jambu.....                                     | 221 |
| <b>Figura 123.</b> Presa vacía con sismo aguas abajo Bishop .....                                   | 221 |
| <b>Figura 124.</b> Presa vacía con sismo aguas abajo Jambu .....                                    | 222 |
| <b>Figura 125.</b> Discretización por método de elementos finitos .....                             | 224 |
| <b>Figura 126.</b> Flujo de filtraciones por método de elementos finitos.....                       | 224 |
| <b>Figura 127.</b> Análisis de presión por método de elementos finitos .....                        | 225 |
| <b>Figura 128.</b> Líneas equipotenciales, Altura total (presión) por método elementos finitos..... | 225 |
| <b>Figura 129.</b> Dimensionamiento del filtro de la presa .....                                    | 228 |
| <b>Figura 130.</b> Filtro de la presa .....                                                         | 228 |
| <b>Figura 131.</b> Diseño del dentellón .....                                                       | 229 |
| <b>figura 132.</b> Dimensionamiento de vertedero .....                                              | 231 |
| <b>Figura 133.</b> Sector típico de canal de alivio .....                                           | 231 |
| <b>Figura 134.</b> Sección del canal .....                                                          | 234 |
| <b>Figura 135.</b> Diseño de cámara Rompepresión .....                                              | 246 |

## RESUMEN

El presente proyecto se titula “Pre-diseño presa de tierra- Cuenca Queuñamayo - distrito de Santo Tomás - provincia de Chumbivilcas – departamento de Cusco-2022”, tiene como objetivo general: Plantear un prediseño de un sistema de represamiento de aguas pluviales en la cuenca de Queuñamayo; previo estudio hidrológico, para consumo humano y uso agrícola que implique el desarrollo económico y social de la población. La metodología que se empleó consistió en un tipo de investigación de acuerdo al propósito descriptivo, cuantitativo, según el nivel de conocimiento la investigación es documental, experimental, según la estrategia es de campo y exploratoria, teniendo como resultados una oferta hídrica arrojada es  $4,223,444.76 \text{ m}^3$ ,  $Q_{\text{max}} = 21.41 \text{ m}^3/\text{s}$ , un tipo de suelo según SUCS de arena con arcilla o arena arcillosa en las 12 calicatas analizadas. El levantamiento topográfico determinó que se trata de un relieve topográfico accidentado, de fuertes pendientes y depresiones profundas intercaladas a lo largo y ancho de la cuenca y del vaso mismo. Asimismo, se realizó el pre diseño del dique de tierra con geomembrana como pantalla impermeabilizante con sus demás estructuras hidráulicas, y en cuanto al diseño hidráulico de la tubería de descarga se tomó en cuenta el mes de máxima demanda el cual fue agosto, la demanda mensual es de  $273480.37 \text{ m}^3/\text{mes}$ , el caudal instantáneo es de  $0.102 \text{ m}^3/\text{s}$ , factor de uso a considerar es 2, caudal máximo instantáneo es de  $204.21 \text{ lts/s}$ , para la tubería de descarga la longitud de conducción requerida es de 380 m, la cota de captación es 4255 m, la cota de caseta es 4205 m, carga disponible es de 50 m, pérdida de carga unitaria de 13.16%, diámetro elegido 0.205m. Finalmente se concluye que el suelo determinado es viable para el diseño de la presa y la demanda hídrica abastece y es suficiente a la demanda poblacional y de irrigación.

Palabras clave: Abastecimiento, aguas pluviales, diseño de presa.

## ABSTRACT

This project is entitled " pre-diseño presa de tierra- Cuenca Queuñamayo - distrito de Santo Tomás - provincia de Chumbivilcas – departamento de Cusco-2022", its general objective is: Propose a pre-design of a rainwater damming system in the Queuñamayo basin; previous hydrological study, for human consumption and agricultural use that implies the economic and social development of the population. The methodology that was used consisted of a type of investigation according to the descriptive, quantitative purpose, according to the level of knowledge the investigation is documentary, experimental, according to the strategy it is field and exploratory, having as results a water offer thrown is 4,223,444.76 m<sup>3</sup> , Q<sub>max</sub>= 21.41 m<sup>3</sup>/s, a type of soil according to SUCS of sand with clay or clayey sand in the 12 pits analyzed, the topographic survey determined that it is a rugged topographic relief, with steep slopes and deep depressions interspersed along and width of the basin and the vessel itself. Likewise, the pre-design of the earthen dam was carried out with a geomembrane as a waterproofing screen with its other hydraulic structures. The hydraulic design of the discharge pipe was determined taking into account the month of maximum demand which was August, the monthly demand is 273480.37 m<sup>3</sup>/month, the instantaneous flow is 0.102 m<sup>3</sup>/s, use factor to consider is 2, maximum instantaneous flow is 204.21 liters per second, for the discharge pipe the conduction length required is 380 m, the catchment elevation is 4,255 m, the booth elevation is 4,205 m, available head is 50 m, unit head loss of 13.16% and the chosen diameter is 0.205m. Finally, it is concluded that the determined soil is viable for the design of the dam and the water demand supplies and is sufficient for the demand for populations and irrigation.

Keywords: Supply, Stormwater, dam design.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día es necesario tomar en consideración factores para ayudar a incentivar el suministro y abastecimiento de agua en el mundo; ya que debido al crecimiento poblacional este se ha vuelto insostenible, manifestando sistemas deficientes en las ciudades, pueblos y comunidades en las cuales se deben adjudicar mecanismos para contribuir al desarrollo sostenible de la población, ayudando a explotar los recursos de una comunidad y su crecimiento económico basándose en la funcionalidad; el recurso hídrico se ha convertido en el pilar fundamental de los seres humanos ya sea en su consumo para sobrevivencia y para el sistema agrícola, tomando en cuenta el agua como el motor primordial para llevar a cabo estas actividades.

Aunado a ello, se requiere tomar en cuenta la factibilidad del recurso hídrico a las zonas donde no es fácil su acceso y obtención; ya sea para consumo humano o para el desarrollo agrícola, trayendo consigo mejoras en el abastecimiento de agua potable en la población de Santo Tomás y en actividades agropecuarias para la comunidad de Orccoma y comunidades aledañas, destacando que sería un sistema funcional y accesible que beneficiará a 27403 habitantes que residen actualmente en el poblado de Santo Tomás y a su población futura.

Por ello, se *desarrollará un estudio hidrológico de la cuenca presentada como solución al problema de agua* para de esta manera, poder diseñar un sistema de represamiento de aguas pluviales tipo dique en la cuenca de Queuñamayo para beneficio de la población de Santo Tomás y de las comunidades aledañas, todo ello en la provincia de Chumbivilcas en el departamento de Cusco, para tener acceso y mejorar el abastecimiento de agua en esta comunidad, implementando así este sistema en el que se incentiva al desarrollo económico, social y sustentable de la población de Santo Tomás y explotar la actividad agrícola en la comunidad de Orccoma, mejorando su calidad de vida.

## CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Diagnóstico Situacional

La población de Santo Tomás se encuentra ubicada a una altitud de 3678 msnm, considerando los factores de altura, clima y la falta de interés de los entes gubernamentales que nunca han puesto interés en la realización, construcción y ejecuciones de obras para la mejora del abastecimiento del recurso hídrico en la población de Santo Tomás, lo que ha traído como consecuencia el déficit de agua, su difícil obtención y a su vez la necesidad de explotar la agricultura en la región para elevar su nivel socioeconómico, ya que al ser una zona muy lluviosa nunca se ha planteado o se ha ejecutado proyectos de cosecha de agua. Un claro ejemplo de ello, es la cuenca Queñamayo, que año tras año se pierde un gran volumen de agua que se puede reutilizar para beneficio de la comunidad, trayendo consigo cierto descontento en los pobladores porque no cuentan con la dotación de agua en su totalidad o se encuentran con un sistema precario del servicio de agua, donde solo se cuenta con el vital líquido por unas horas. Observando estas necesidades, la Municipalidad distrital de Santo Tomás decidió declarar en emergencia hídrica la zona por los problemas antes mencionados, por ende, es necesario satisfacer la demanda y dotación total de la necesidad del recurso hídrico en la población.

Este proyecto es de gran relevancia a nivel regional, ya que satisfecerá la demanda de agua en su totalidad de la población de Santo Tomás y comunidades anexas, a su vez contribuirá con el desarrollo y crecimiento social de la población, de igual manera produce gran impacto a nivel nacional, por el hecho de que servirá para beneficiar a otras localidades del país que no cuentan con una dotación de agua, problemática que se ve reflejada en varias zonas del país. Esto conlleva a una problemática existencial de gran

envergadura a nivel mundial, tomando en cuenta que mientras va aumentando la población a su vez va incrementando el problema del agua en el mundo y el Perú no escapa de esta problemática y realidad.

Es por ello que es necesario realizar con urgencia este tipo de obras de hidráulica y de ingeniería civil, aprovechando la ayuda de la naturaleza como lo son las lluvias y las cuencas hidrográficas, para incentivar y reducir en gran parte el problema del vital líquido esencial para el desarrollo y crecimiento social, económico y sostenible de las comunidades, tomando el slogan que dice: “El agua es la fuerza motriz de la naturaleza, sin agua no hay vida” expresado por la Organización Mundial de la Salud, el 22 de marzo, que se celebró el día mundial del agua.

## **1.2. Formulación del Problema**

En la actualidad la problemática del agua en la sociedad que vivimos viene trayendo consigo consecuencias sociales, económicas y de impacto ambiental, aunado a problemas relacionados con la contaminación del agua existente en la población y a su vez la presencia de sistemas de abastecimiento que son efímeros y que no cuentan con la dotación necesaria para satisfacer la demanda del vital líquido en la comunidad, todo ello a consecuencia del difícil acceso, la altura, factores climatológicos y el menoscabo interés de los gobernantes de la región como es el caso de la población de Santo Tomás en la provincia de Chumbivilcas en el departamento del Cusco. Tal localidad solo cuenta con el vital líquido por horas determinadas, las mismas que son insuficientes para abastecer a la población además de no estar en condiciones aptas salubres para el consumo humano, lo que ha generado un gran desconcierto en los habitantes de la región que tampoco pueden concretar sus anhelos de crecimiento económico y social por medio del desarrollo agropecuario; tal es el caso de la comunidad de Orccoma siendo esta la más afectada, ya que esta región es donde el agua sería destinada para el uso agropecuario por lo que es

una zona fértil y de gran auge en el ámbito de agricultura y ganadería que no se explota lo suficiente por la problemática existente y a la vez garantiza su consumo para la supervivencia de los que allí habitan.

En vista de esta problemática se diseñará un sistema de represamiento para la captación de aguas pluviales, ya que por ser una zona donde se evidencia y se aprecia abundante cantidad de lluvia, este proyecto sería un avance significativo para el desarrollo de la población de Santo Tomás y el cual servirá de ejemplo para el diseño y construcción de obras hidráulicas e ingeniería en zonas de difícil acceso en nuestro país y la que ayudará a solventar la problemática del recurso hídrico existente en la comunidad, en la región, en el país y a nivel mundial.

En vista a las problemáticas descritas previamente, surgen las siguientes incógnitas.

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

¿Será viable técnicamente plantear un sistema de represamiento para la cuenca de Queuñamayo con la cantidad de agua ofertada íntegramente pluvial, con el fin de satisfacer la demanda poblacional y agrícola en el distrito de Santo Tomás?

### **1.2.2. Problemas Específicos.**

- ¿De qué manera influye la hidrología en el prediseño del represamiento de la cuenca de Queuñamayo?
- ¿Realizar el levantamiento topográfico del vaso de la cuenca ayudará a facilitar la obtención del volumen útil de la presa al momento de su prediseño?
- ¿Qué efectos genera el tipo de suelo en el estudio, prediseño y viabilidad de la presa?

- ¿Es factible desarrollar el prediseño de la presa para captación pluvial, empleando materiales sueltos con geosintéticos?

### **1.3. Hipótesis**

La construcción de una presa de tierra de acopio para aguas pluviales en la Cuenca Queñamayo, abastece del recurso hídrico la demanda poblacional y agrícola en el distrito de Santo Tomás, considerando así los estudios respectivos que influyen en su prediseño.

#### **1.3.1. Hipótesis Específicas.**

1. La hidrología influye significativamente en el prediseño de la presa de tierra para aguas pluviales; es necesario sus estudios que conllevan a ayudar a mejorar la calidad de vida de la población. Esta nos dirá si es factible o no el proyecto, es decir, si la oferta satisface a la demanda total.
2. El levantamiento topográfico del vaso de la cuenca ayuda eficazmente al momento del prediseño de la presa; ya que estos permiten determinar parámetros en cuanto al relieve y volúmenes definitivos que son necesarios para llevar a cabo el prediseño.
3. Los estudios de suelos influyen significativamente en las condiciones físicas y mecánicas a considerar para el pre dimensionamiento de la presa.
4. El emplear material suelto con geo sintético incentivará a establecer un mejor prediseño, puesto que genera estabilidad, uniformidad e impermeabilidad para el diseño hidráulico de la presa de tierra.

### **1.4. Variables**

Se indagaron ciertos parámetros para que la investigación conlleve a los resultados requeridos y los criterios empleados sean los óptimos para resolver lo planteado.

#### **1.4.1. Definición conceptual de las variables.**

##### **1.4.1.1. Evaluación Hidrológica.**

Permite considerar los aspectos que se refieren al tamaño y forma de la cuenca como factor hidrológico, donde el caudal aportado estará en función a las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, meteorológicas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

##### **1.4.1.2. Topografía del vaso de la cuenca.**

Descripción técnica o representación gráfica de un lugar. Su objetivo es examinar la superficie cuidadosamente teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, así como las alteraciones existentes consecuencia de la intervención del hombre. (Núñez, 2020)

##### **1.4.1.3. Estudio de suelo.**

Es un conjunto de actividades que permite destacar aspectos relacionados con el tipo de suelo y sus características, permitiendo establecer información crítica para la planificación, el diseño y la ejecución de un proyecto de construcción. (Gobierno de México, 2019).

##### **1.4.1.4. Prediseño de la presa de tierra para almacenamiento.**

Son construcciones hidráulicas sustanciales que pueden almacenar o reponer agua para su uso en la evaporación, la generación de energía eléctrica, el consumo humano y otros fines. (Fundación Wikipedia, Inc., 2017).

#### **1.4.2. Definición operacional de las variables.**

##### **1.4.2.1. Evaluación hidrológica.**

Este estudio se realiza con la finalidad de dar a conocer aspectos específicos sobre el agua, precipitaciones, escorrentía, entre otros de un determinado lugar o zona. Incluye el balance hídrico que debe ser positivo para ser viable.

##### **1.4.2.2. Topografía en el vaso de la cuenca.**

Se realiza con el propósito de establecer los parámetros topográficos del relieve, vegetación, pendientes y factores especiales como ubicación tentativa del dique y delimitación del posible vaso de la cuenca.

##### **1.4.2.3. Estudio de suelos.**

Permite establecer parámetros en cuanto a la estratigrafía, la identificación y las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para el pre dimensionamiento de la presa de tierra.

##### **1.4.2.4. Prediseño de la presa de tierra para almacenamiento.**

Se prediseña con la finalidad de contribuir al abastecimiento del recurso hídrico en la población de Santo Tomás, ya que es una zona con una orografía particular que da hincapié para desarrollar este proyecto. Abarca el pre dimensionamiento y diseño hidráulico de la presa.

### 1.4.3. Operacionalización de las variables

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

| Variable                                                                            | Definición conceptual                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Definición Operacional                                                                                                                                                                                                                    | Dimensiones                                   | Indicadores                                                                                                                                                                                                                          | Instrumentos                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Variable Independiente</b></p> <p><b>Evaluación Hidrológica</b></p>           | Permite considerar los aspectos que se refieren al tamaño y forma de la cuenca como factor hidrológico, donde el caudal aportado estará en función a las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, meteorológicas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015) | Este estudio se realiza con la finalidad de dar a conocer aspectos específicos sobre el agua, precipitaciones, escorrentía, entre otros de un determinado lugar o zona. Incluye el balance hídrico que debe ser positivo para ser viable. | Características hidrológicas e hidráulicas.   | <p>- Parámetros geomorfológicos de la cuenca</p> <p>-Precipitaciones</p> <p>-Caudales</p> <p>-Tiempo de Concentración</p> <p>-Balance Hídrico</p>                                                                                    | <p>-Estación meteorológica</p> <p>-Software</p> <p>-Distribuciones estadísticas aplicadas</p> |
| <p><b>Variable Independiente</b></p> <p><b>Topografía del vaso de la cuenca</b></p> | Descripción técnica o representación gráfica de un lugar. Su objetivo es examinar la superficie cuidadosamente teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, así como las alteraciones existentes consecuencia de la intervención del hombre (Nuñez, 2020)                                                                | Se realiza con el propósito de establecer los parámetros topográficos del relieve, vegetación, pendientes y factores especiales como ubicación tentativa del dique y delimitación del posible vaso de la cuenca.                          | Topografía                                    | <p>-Levantamiento topográfico</p> <p>-Área del vaso</p> <p>-Volumen útil</p>                                                                                                                                                         | <p>-Instrumentos topográficos</p> <p>-Software</p>                                            |
| <p><b>Variable Independiente</b></p> <p><b>Estudio de suelos</b></p>                | Es un conjunto de actividades que permite destacar aspectos relacionados con el tipo de suelo y sus características, permitiendo establecer información crítica para la planificación, el diseño y la ejecución de un proyecto de construcción.                                                                                                                   | Permite establecer parámetros en cuanto a la estratigrafía, la identificación y las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para el prediseño de la presa de tierra.                                                                | Características físicas y mecánicas del suelo | <p>-Peso específico del suelo</p> <p>-La clasificación del suelo según la carta de plasticidad</p> <p>-Coeficiente de permeabilidad</p> <p>-Ángulo de rozamiento interno</p> <p>-Índice de porosidad</p> <p>-Cohesión del suelo.</p> | <p>-Laboratorio de Mecánica de suelos</p>                                                     |

| <u>Variable Dependiente</u>                                  |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                    |                                                                                                             |                                                                          |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pre diseño de la presa de tierra para almacenamiento.</b> | Son construcciones hidráulicas sustanciales que pueden almacenar o reponer agua para su uso en la evaporación, la generación de energía eléctrica, el consumo humano y otros fines. (Gobierno de México, 2019) | Se pre diseña con la finalidad de contribuir al abastecimiento del recurso hídrico en la población de Santo Tomás, ya que es una zona con una orografía particular da hincapié para desarrollar este proyecto. Abarca el pre dimensionamiento y diseño hidráulico de la presa. | -Pre Dimensionamiento<br>-Topografía<br>-Hidrología<br>-Hidráulica | -Material suelto<br>--Diseño hidráulico<br>- geo sintéticos<br>-Sedimentos<br>-Estabilidad<br>-Filtraciones | -Cálculos matemáticos<br>-Pre dimensionamiento<br>-Chequeos<br>-Software |



## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo General.

Plantear un pre diseño de un sistema de represamiento de aguas pluviales en la cuenca de Queñamayo; previo estudio hidrológico, para consumo humano y uso agrícola que implique el desarrollo económico y social de la población.

### 1.5.2. Objetivos Específicos.

- Efectuar un estudio hidrológico pluvial de la cuenca delimitada priorizando el balance hídrico.
- Realizar el levantamiento topográfico del vaso de la cuenca que permita determinar el volumen útil de la presa.
- Interpretar el Informe Técnico de Suelos, con la finalidad de determinar las características físicas y mecánicas del mismo que permitan la viabilidad de la presa.
- Pre dimensionar y diseñar hidráulicamente una represa netamente pluvial, empleando geo membrana –geotextil como pantalla impermeabilizante.

## CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Marco Legal

Se consultaron y se tomaron en cuenta ciertas normas técnicas, gacetas oficiales, reglamentos, leyes, entre otras, con la finalidad de dar severidad a lo planteado en el proyecto y que cumpla con los parámetros legales previstos en nuestro país para la toma en consideración de los criterios a emplear en el diseño de la obra.

Entre la normativa legal que se empleó se encuentran las siguientes:

- Resolución Ministerial N.º 192-2018-Vivienda, que modifica y actualiza la norma de opciones tecnológicas para el sistema de abastecimiento de agua para el consumo humano en el ámbito rural.
- Norma E 050. Suelos y Cimentaciones
- Artículos 787 y 56 de la FAO.
- Plan Nacional de Recursos Hídricos-ANA&MINAGRI
- Ejecución de levantamiento de suelos-Calicatas (D.S. N.º 013-2010-AG)
- Manual de Hidrología hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- US Army Corps of Engineers (Factores de seguridad)
- USA Bureau of Reclamation

### 2.2. Marco Teórico

#### 2.2.1. Estudio Hidrológico de la cuenca.

##### 2.2.1.1. Aspectos generales.

**2.2.1.1.1. Hidrología.** Según Chow, (1964) establece “Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie

terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos”. (P.10)

**2.2.1.1.2. Geomorfología.** Se basa en un examen de las características de la atmósfera en la Tierra. Este es un subcampo de la geología, la ciencia que investiga la estructura interior y exterior de la tierra teniendo en cuenta sus recursos naturales y alteraciones pasadas. (Porto & Merino, 2018)

**2.2.1.1.3. Cuenca hidrográfica.** La cuenca es una región de relieve en la tierra donde las lluvias hacen que se concentren algunos arroyos en un punto de salida. Tanto las redes de cuevas superficiales como las subterráneas están relacionadas. Si la superficie de una cuenta es impermeable, se considera superficial. Exorreicas y endorreicas son las dos categorías de cuencas convergentes. El sitio de salida de la cuenca endorreica es típicamente un lago y está ubicado completamente dentro de sus propios límites. (Aparicio, 1992)

**2.2.1.1.3.1. Geomorfología de una cuenca hidrográfica.** Como sabemos la geomorfología de una cuenca se encuentra en constante cambio debió a muchos factores ambientales, entre ellos las precipitaciones son el mayor de todos y siendo el deshielo una de los más importantes, estos cambios modifican el relieve de las cuencas y hacen que su estudio tenga que reevaluarse cada cierto tiempo. (Aparicio, 1992)

**2.2.1.1.3.2. Características y parámetros geomorfológicos de una cuenca hidrográfica.** Las características físicas de una cuenca como su altitud, su clima, sus especies influyen en su acción y reacción de su comportamiento hidrológico. (Aparicio, 1992)

La clasificación por sus características físicas de una cuenca es crucial en el campo de la ingeniería, dado que las cuencas que tengan características físicas iguales generalmente tienen el mismo comportamiento hidrológico.

La característica de los parámetros geomorfológicos se desprende del análisis cartográfico, de un estudio topográfico de los suelos y de la infiltración del terreno evaluado.

Según Cahuana & Yugar, (2009) establece “Los planos para estos análisis son usados en escalas desde 1:25.000 hasta 1:100.000, dependiendo de los objetivos del estudio y del tamaño de la cuenca en cuestión. Se podría decir que para cuencas de un tamaño superior a los 100 km<sup>2</sup> un plano topográfico en escala 1:100.000 es suficiente para las metas pretendidas en el análisis general del sistema de una cuenca” (P.17).

La cuenca tiene similares características a un desagüe por donde drena el agua de las lluvias ocasionadas por las condiciones atmosféricas. Una porción de agua se disipa por las condiciones de la cuenca. Los estudios de una misma región es conveniente que se estandarice para que puedan compararse unos con otros y compatibilizar resultados.

Según Cahuana & Yugar, (2009) establece “Las características físicas más importantes de una cuenca son: Área, perímetro, forma de la cuenca, longitud, pendiente promedio, curva hipsométrica, histograma de frecuencias altimétricas, relación de bifurcación de los canales, densidad de drenaje, alturas y elevación promedia, perfil, cauce principal, pendiente promedia del cauce principal” (P.17).

*2.2.1.1.3.3 Área de la cuenca (A).* Es la característica y aspecto más resaltante a considerar de la cuenca, ya que esta abarca toda la superficie plana dentro de la línea divisoria. Es muy importante debatir sobre la identificación del parteaguas o delimitación de la cuenca. (Chereque, 1989)

*2.2.1.1.3.4. Longitud, perímetro y ancho.* La longitud de la cuenca está definida como la proyección del río desde la parte de aforo hasta el límite de la cuenca, esta distancia es la longitud de la cuenca.

El perímetro corresponde a la longitud del polígono que define los límites de la cuenca y depende de la superficie y forma de esta.

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y se designa por la letra W. De forma que:

$$W=A/L \quad (\text{Ec. 2.1})$$

#### 2.2.1.1.3.5. *Índice de compacidad (K).*

Según Villón, (2002) establece “Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca. Si  $K = 1$ , la cuenca será de forma circular. Si  $K > 1$ , se espera una cuenca alargada, donde se reducen las posibilidades de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en un río” (P. 41).

#### 2.2.1.1.3.6. *Factor de forma de cuenca (F).*

Según Villón, (2002) establece “Es la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud de su canal principal. Es un indicador de la fuerza del flujo para una superficie de drenaje específica. Cuanto menor sea el factor de forma, más delgada será la olla. Las cuencas con coeficientes de forma alta producirán descargas máximas instantáneas altas de corta duración, mientras que los coeficientes de forma baja producirán la situación contraria. En comparación con las cuencas con la misma área, pero con coeficientes de forma, su intensidad de lluvia tiende a ser menos concentrada”. (P. 39).

2.2.1.1.3.7. *Pendiente del Cauce.* Esta se obtiene dividiéndose las cotas de extremos entre cada uno de los cauces y la longitud total del cauce.

2.2.1.1.3.8. *Criterio de Alvord.* Es un método que consiste en determinar la pendiente de la cuenca. Este criterio está basado en la obtención previa de las pendientes existentes entre las curvas de nivel.

#### 2.2.1.1.4. *Curvas Hipsométricas.*

Según Mejía, (2006) “Es la representación gráfica del relieve medio de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de las diferentes superficies de la cuenca con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestra el porcentaje de área de drenaje que existe por encima o por debajo de las diferentes elevaciones o cotas” (P 50).

#### 2.2.1.2. *Elementos meteorológicos.*

2.2.1.2.1. *Precipitación.* “Es una variable hidrológica que manifiesta más claramente su carácter aleatorio, variando drásticamente en el tiempo” (Mejía, 2006)

2.2.1.2.1.1. *Análisis de los datos de precipitación.* La información pluviométrica o pluviográfica antes de ser estudiada en su comportamiento debe ser revisada y analizada en tres aspectos importantes: si los datos de la estación son completos, si es consistente y si es de extensión suficiente.

##### 2.2.1.2.1.1.1. *Curvas características de precipitación.*

2.2.1.2.1.1.1.1. *Curvas de masa de precipitación.* La curva de precipitación representa la acumulación de precipitación (diaria, mensual y anual) a lo largo del tiempo y en orden cíclico. Esta curva se deriva directamente del pluviograma. La curva de precipitación representa la intensidad en ese momento en línea recta. (Cahuana & Yugar, 2009)

2.2.1.2.2. *Humedad Relativa.* Es la relación en porcentaje entre la cantidad actual de humedad en el aire y la cantidad necesaria para saturar el aire a una temperatura dada (Mejía, 2006)

**2.2.1.2.3. Temperatura.** Se considera un factor determinante y decisivo en las diversas etapas del ciclo hidrológico, particularmente en la investigación de la evaporación (Mejía, 2006)

**2.2.1.2.4. Vientos.** Se origina por la diferencia entre presión y temperatura e influye en el transporte de calor y humedad, evaporación y evapotranspiración y alimentación de las precipitaciones (Mejía, 2006)

**2.2.1.2.5 Radiación.** Es la fuente de energía que hace que se produzca el ciclo hidrológico, responsable del movimiento de la energía en la atmósfera, los sistemas terrestres y globales. (Mejía, 2006)

## 2.2.2. Análisis Estadístico.

**2.2.2.1. Identificación de Salto.** Se realiza mediante un análisis, o sea mediante un proceso de inferencia para las medias y desviación estándar, de ambos periodos; mediante las pruebas T y F respectivamente (Mejía, 2006).

Según Mejía, (2006), Se determina mediante las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} X_i \quad S_1 = \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2}$$

(Ec.2.2)

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} X_i \quad S_2 = \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (X_i - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ec.2.3})$$

Donde:

$X_i$ : Información de análisis

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$ = Medias del periodo 1 y 2 respectivamente

$n_1, n_2$ = Tamaño de la muestra respectivamente

$S_1, S_2$ = Desviación estándar del periodo 1 y 2 respectivamente

$n =$  Tamaño de la muestra  $n_1 + n_2$

**a) Consistencia en la Media (Prueba de medias)**

$H_0: \mu_1 = \mu_2$  (media poblacional)

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha = 0.05$

• **Cálculo de las desviaciones estándar de promedios y ponderada**

$$S_d = S_p \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2} \quad (\text{Ec.2.4})$$

$$S_p = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2} \quad (\text{Ec.2.5})$$

Donde:

$S_d$  = Desviación estándar de los promedios

$S_p$  = Desviación estándar ponderada

• **Realización de la prueba “T”**

$$T_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d} \quad (\text{Ec.2.6})$$

Donde:

$\mu_1 - \mu_2 = 0$  (Por hipótesis)

$T_c$  = Es estadístico T calculado

El valor  $T_t$  (tabular), la cual se calcula con:

$$\alpha = 0.05 \text{ y G. L.} = n_1 + n_2 - 2 \quad (\text{Ec.2.7})$$

- **Conclusión**

$$\text{Si } T_c < T_t (95\%) \quad \bar{X}_1 = \bar{X}_2 \text{ (Estadísticamente)} \quad (\text{Ec.2.8})$$

$$\text{Si } T_c > T_t (95\%) \quad \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2 \text{ (Estadísticamente)} \quad (\text{Ec.2.9})$$

**b) Consistencia en la Desviación Estándar (Prueba de Varianzas)**

- Cálculo de las varianzas de ambos periodos  $S_1^2$  y  $S_2^2$

- Prueba estadística “F”

$$H_p: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad (\text{Ec.2.10})$$

$$H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad (\text{Ec.2.11})$$

$$\alpha = 0.05$$

- Cálculo de “F<sub>c</sub>”

$$F_c = \frac{S_1^2 / \sigma_1^2 - S_1^2}{S_2^2 / \sigma_2^2 - S_2^2} \quad \text{Si } S_1^2 > S_2^2 \quad (\text{Ec.2.12})$$

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2} \quad \text{Si } S_2^2 > S_1^2 \quad (\text{Ec.2.13})$$

**2.2.2.2. Estimación de datos faltantes.** El proceso de compleción y / o expansión de datos se lleva a cabo en una serie consistente, es decir, después de que se analiza su confiabilidad, se puede obtener un ciclo completo, más confiable y de tamaño uniforme. Existen varios métodos: Método del promedio aritmético; Método de la relación normalizada; Método del U. S. National Weather Service; Método Racional Deductivo, los idóneos para el proyecto son los siguientes:

**2.2.2.2.1. Método del Promedio Aritmético.** Si la precipitación anual en cada estación auxiliar (índice de estación) es inferior al 10% de lo registrado en la estación

incompleta (x), se utilizará el "Promedio Aritmético Simple" de los índices de estación para estimar los datos diarios faltantes. (Chereque, 1989)

**2.2.2.2.2. Método de Regresión Lineal.** El uso de la regresión lineal entre la estación incompleta y otra u otras cercanas es de gran ayuda para estimar valores faltantes al completar registros anuales en uno o más años, consecutivos o intercalados. Se debe realizar una regresión para determinar la validez del ajuste lineal y se debe obtener la correlación (coeficiente de determinación). Es importante señalar que la serie debe ser independiente e idénticamente distribuida para poder realizar el análisis de regresión. (Cahuana & Yugar, 2009).

**2.2.1.4. Método de los polígonos de Thiessen.** Este método se debe a A. H. Thiessen (1911) y se emplea cuando la distribución de los pluviómetros no es uniforme dentro del área en consideración. El método consiste en:

Unificar los puntos más próximos entre líneas discontinuas, formando triángulos en sus vértices, y puntos pluviométricos. Trazar las líneas rectas que bisecan las líneas rectas que bisecan las líneas rectas correspondientes a cada triángulo que convergen en un solo punto según geometría elemental. (Cahuana & Yugar, 2009)

Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca (Cahuana & Yugar, 2009)

El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente. Por lo tanto, la precipitación promedio sobre la cuenca se evalúa con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{Thiessen}} = \frac{\sum A_t P_t}{A} \quad (\text{Ec.2.14})$$

Donde:

$P_{\text{Thiessen}}$  = Precipitación promedio sobre la cuenca, en mm

$A_i$  = Área del polígono de cada una de las estaciones  $i$  dentro de la divisoria de aguas de la cuenca, en  $\text{km}^2$  o  $\text{m}^2$

$A$  = Área total de la cuenca, en  $\text{km}^2$  o  $\text{m}^2$

$P_i$  = Precipitación en estación  $i$  para el periodo de estudio, en mm.

Calculando el área encerrada por cada estación y relacionándola con el área total, se sacan pesos relativos para cada pluviómetro y posteriormente el valor de la precipitación promedio se obtiene a partir de un promedio ponderado.

#### 2.2.1.5. Oferta hídrica neta.

**2.2.1.5.1. Evapotranspiración.** Es la pérdida que resulta del suelo por medio de la evaporación del agua a través de la transpiración de las plantas (Mejía, 2006)

**2.2.1.5.1.1. Evapotranspiración Potencial.** De acuerdo a Mejía, (2006) “Es la pérdida del agua por evapotranspiración en un terreno extensa, con vegetación verde, baja, en pleno desarrollo, cubriendo totalmente el suelo, de altura uniforme y sin sufrir deficiencia de humedad” (P.110).

**2.2.1.5.1.2. Evapotranspiración Real.** De acuerdo a Mejía, (2006) “Es la pérdida de agua por evaporación y transpiración, en las condiciones atmosféricas y de humedad del suelo, actuales reinantes” (P.110).

2.2.1.5.1.3. *Método de Thornwaite*. De acuerdo a Mejía, (2006) “Este método se caracteriza porque la evapotranspiración potencial, en el que interactúan la temperatura promedio diaria y la duración del día” (P.126)

2.2.1.5.2. *Infiltración*. De acuerdo a Chereque, (1989) establece “Cuando llueve, parte de la lluvia del comienzo es retenida en la cobertura vegetal como intercepción y en las depresiones del terreno como almacenamiento superficial. Conforme continúa la lluvia, el suelo se cubre de una delgada capa de agua conocida como detención superficial y el flujo comienza pendiente abajo hacia los cursos, lo que constituye la escorrentía superficial. Inmediatamente, debajo de la superficie tiene lugar la escorrentía subsuperficial y las dos escorrentías, la superficial y la subsuperficial, constituyen la escorrentía directa. La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra; la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos fenómenos, la infiltración y la percolación, están íntimamente ligados, puesto que la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda. El agua que se infiltra en exceso de la escorrentía - subsuperficial puede llegar a formar parte del agua subterránea, la que eventualmente puede llegar a los cursos de agua” (P.63).

2.2.1.5.2.1. *Método del número de curvas (CN)*. Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS) para calcular la precipitación efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad. La metodología del número de la curva (CN), es la más empleada para transformar la precipitación total en precipitación efectiva, surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente. La representación gráfica de la

profundidad de precipitación (P) y la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa (Pe), permitió obtener una familia de curvas que fueron estandarizadas a partir de un número adimensional de curva CN, que varía de 1 a 100, según sea el grado del escurrimiento directo. Así, un número de la curva CN = 100, indica que toda la lluvia escurre y un CN = 1, indica que toda la lluvia se infiltra.

**2.2.1.5.3. Caudal ecológico.** Según Autoridad Nacional del Agua, (2016) establece “Actualmente existe una metodología, pero sin lineamientos precisos a aplicar para el cálculo del caudal ecológico, sin embargo, existe una directiva de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) que indica que para fines de aprobación del estudio de aprovechamiento hídrico debe considerarse el 15% del caudal medio mensual para la demanda ecológica”. (P.8).

#### **2.2.1.6. Demanda Hídrica.**

**2.2.1.6.1. Demanda Poblacional.** Con esa tasa de crecimiento, que incluye la tasa de natalidad menos la tasa de mortalidad y migraciones, calculamos la población futura a 50 años, según normatividad para diseñar la represa con población futura.

La dotación Según Resolución Ministerial N.º 173-2018-vivienda norma: guía de opciones tecnológicas para Sistema de abastecimiento de agua para consumo humano y saneamiento en el ámbito rural de la Sierra es de 50 l/hab./d.

**Tabla 2.** Dotación mínima según región

| REGIÓN        | SIN ARRASTRE HIDRÁULICO | CON ARRASTRE HIDRÁULICO |
|---------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Costa</b>  | 60 l/h/d                | 90 l/h/d                |
| <b>Sierra</b> | 50 l/h/d                | 80 l/h/d                |
| <b>Selva</b>  | 70 l/h/d                | 100 l/h/d               |

Nota: En la tabla 2, se puede apreciar los valores correspondientes a la dotación mínima por cada región del país, lo que se considera para el presente proyecto 50 l/h/d, sin arrastre hidráulico, datos tomados de (Resolución Ministerial 173-2018, 2018)

Según el reglamento nacional de edificaciones, la variación en el consumo se puede calcular con un factor de demanda diaria

**2.2.1.6.1.1. Variaciones de Consumo.** En los abastecimientos por conexiones domiciliarias, los coeficientes de las variaciones de consumo, referidos al promedio diario anual de la demanda, deberán ser fijados basándose en el análisis de la información estadística comprobada.

De lo contrario se podrán considerar los siguientes coeficientes:

-Máximo anual de la demanda diaria: 1.3

-Máximo anual de la demanda Horaria: 2

**2.2.1.6.2. Evapotranspiración para sembrío.** Esta sección investiga la evapotranspiración del cultivo en condiciones normales (Etc.). Estas son las tasas de evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades y bien fertilizado que crece en un campo grande con condiciones óptimas de humus en el suelo y alcanza la producción total bajo condiciones climáticas específicas. (FAO, 2006)

**2.2.1.6.3. Cálculo de módulo de riego.** Se realiza mediante una base de datos climática que se utiliza en combinación con el programa informático CROPWAT. y permite el cálculo de los requisitos de agua de los cultivos, el suministro de riego y la programación del riego para varios cultivos para una variedad de estaciones climatológicas en todo el mundo (FAO, Clinwat, 2022).

**2.2.1.6.4. Softwares de cálculos para el módulo de riego.**

**2.2.1.6.4.1. Soil Water Characteristics.** Este programa gráfico de computadora se usa para estimar las características de retención y transmisión de agua hidrológica de una capa de perfil de suelo agrícola. La selección de texturas del suelo en el triángulo gráfico de la textura del suelo mediante las barras deslizantes, proporciona estimaciones para las

relaciones entre el contenido de agua del suelo, la tensión y la conductividad y los contenidos de agua estándar asociados. Las ecuaciones de estimación se desarrollaron mediante correlaciones de un extenso conjunto de datos (1722 muestras) proporcionado por el Laboratorio Nacional de Inspección de Suelos USDA/NRCS. Las soluciones son válidas para todas las texturas excepto aquellas con contenido de arcilla superior al 60%.

**2.2.1.6.4.2. CROPWAT 8.0 para Windows.** Es un programa de computadora que se puede usar para calcular los requisitos de agua y sequía de los cultivos en función de los datos climáticos y de cultivos existentes o nuevos. El programa también permite la creación de calendarios de riego para varias condiciones de manejo, así como el cálculo del esquema de abastecimiento de agua para diferentes cultivos. (FAO, Land & Water, 2022)

**2.2.1.6.4. Estudio FAO y drenaje.** En esta publicación se presenta una actualización del procedimiento para calcular la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración del cultivo a partir de datos meteorológicos y coeficientes de cultivo. El procedimiento, que fue presentado por primera vez en la publicación N° 24 de la Serie de Riego y Drenaje de la FAO «Las Necesidades de Agua de los Cultivos» en 1977, permite estimar la cantidad de agua que un cultivo utiliza teniendo en cuenta el efecto del clima y las características del cultivo. La publicación incorpora avances en investigación y un procedimiento más preciso para determinar el uso de agua de los cultivos de acuerdo a las recomendaciones de un panel de expertos de alto nivel organizado por la FAO en mayo de 1990.

**2.2.1.7. Balance hídrico.** Es la resta de la oferta de agua con la demanda máxima de esta, siendo siempre positivo para ser viable. La oferta se calcula con la cantidad de agua que producirá la lluvia en la cuenca menos las filtraciones y evapotranspiración. La

demanda es la suma de los requerimientos para consumo humano y agrícola. Se prioriza siempre el agua para el consumo humano (Cahuana & Yugar, 2009).

**2.2.1.8. Estadística aplicada en la hidrología.** Existen varios tipos de métodos que son utilizados para obtener la distribución en cuanto a intensidad y determinar los parámetros que conllevan los estudios hidrológicos, entre estos métodos destaca:

- Método de LogPearson tipo III
- Método de Distribución de LogNormal
- Método de Distribución Normal
- Método de Pearson tipo III
- Método de Distribución de Gumbel

**2.2.1.8.1. Distribución de Gumbel.** Dado que se cree que esta distribución de valores extremos es una distribución logarítmica estándar, el valor extremo, o el valor más alto,  $X$ , se calcula utilizando la ecuación de análisis de frecuencia. (Ramírez et al., 2006)

Esta distribución es aplicable para determinar la distribución de la intensidad de lluvia respecto a ciertos tiempos de retorno y verificar el comportamiento que esta tenga a lo largo de ese tiempo.

**2.2.1.8.2. Distribución LogPearson tipo III.** Foster creó esta técnica en 1924, y su paso principal es traducir los valores extremos de  $X$  a los logaritmos correspondientes. El valor de  $K$  depende tanto de  $Tr$  como del coeficiente asintótico  $g$ , que mide hasta qué punto los datos o valores de la distribución se desvían de la normal gaussiana. Esto lo hace único de los enfoques anteriores” (Ramírez et al., 2006)

**2.2.1.8.3. Distribución Normal.** Conocida también como distribución de Gauss, ya que es una de las distribuciones de probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece en estadística y en la teoría de probabilidades (Ramírez et al., 2006)

**2.2.1.8.4. Distribución LogNormal.** es una distribución de probabilidad con una distribución logarítmica de forma normal. La distribución LogNormal se puede utilizar cuando la cantidad de interés debe ser positiva porque  $\log(x)$  solo se puede formar cuando el valor de  $x$  es positivo (Matchworks, 2022).

**2.2.1.8.5. Distribución Pearson tipo III.** Se utiliza para describir cómo se producirán las distribuciones de probabilidad máximas anuales y máximas decrecientes. Cuando la información es muy asimétrica en un sentido positivo, la asimetría se reduce a través de una transformación logarítmica (Acosta & Sierra, 2013).

Tiene una distribución Gamma o Pearson tipo III, si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{(X - X_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (\text{Ec.2.15})$$

Para:  $X_0 \leq X \leq \infty$ ;  $-\infty \leq X_0 \leq \infty$ ;  $0 \leq \beta \leq \infty$ ;  $0 \leq \gamma \leq \infty$

La función de distribución acumulada de la distribución Pearson tipo III es:

$$f(x) = \int_{X_0}^X \frac{(X - X_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} dx$$

(Ec.2.16)

En la cual:  $f(x)$ = Función de densidad de la variable  $x$

$F(x)$ = Función de distribución acumulada

$x$ = Variable aleatoria

$X_0$  = Origen de la variable  $x$ , parámetro de posición

$\beta$ = Parámetro de escala

2.2.1.8.5.1. *Verificación de las distribuciones modelos.* Para analizar los datos hidrológicos de manera más efectiva, se debe comprender el tipo o forma de distribución teórica que puede parecerse a la distribución empírica de estos datos (enfoque estadístico). Se deben realizar algunas pruebas estadísticas conocidas como pruebas de ajuste para determinar en qué medida esta distribución empírica se parece a la distribución teórica.” (Aparicio, 1992)

2.2.1.8.5.2. *Prueba de Smirnov Kolmogorov.* De acuerdo a)”. Aparicio, (1992) establece “Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D que hay entre la función de distribución observada  $F_o(P_m)$  y la estimada  $F(P_m)$  (P.276)

$$D = \max |(P_m) - F(P_m)| \quad (\text{Ec. 2.17})$$

Con un valor crítico que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionada. Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

**Figura 1.** Valores críticos Smirnov- Kolmogorov

| Tamaño de la muestra | $\alpha = 0.1$  | $\alpha = 0.05$ | $\alpha = 0.01$ |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 5                    | 0.51            | 0.56            | 0.67            |
| 10                   | 0.37            | 0.41            | 0.49            |
| 15                   | 0.30            | 0.34            | 0.40            |
| 20                   | 0.26            | 0.29            | 0.35            |
| 25                   | 0.24            | 0.26            | 0.32            |
| 31                   | 0.22            | 0.24            | 0.29            |
| 40                   | 0.19            | 0.21            | 0.25            |
| N grande             | $1.22/\sqrt{n}$ | $1.36/\sqrt{n}$ | $1.63/\sqrt{n}$ |

Fuente: Fuentes de Hidrología de Superficie, Aparicio

Nota: En la figura 1, se aprecia los valores correspondientes a los valores críticos de Smirnov- Kolmogorov, datos obtenidos de (Aparicio, 1992)

**2.2.1.9. Tiempo de Concentración.** Tiempo requerido para que la cuenca contribuya efectivamente a la generación de flujo en el desagüe. El tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde el punto más alejado del embalse hasta el punto donde emerge el desagüe.

Además, debe tenerse en claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante; según Marcos & Reyes (1992) aunque muy ligeramente depende de la intensidad y la precipitación. La más empleada es la fórmula de: Kirpich.

#### **2.2.1.9.1. Análisis de las máximas avenidas.**

Se entiende por avenida la elevación de niveles de agua en el cauce a valores no usuales, como consecuencia del crecimiento del caudal que circula por la red de drenaje. Este aumento es el resultado de una precipitación inusual de tal magnitud que la superficie del lago no puede hacer frente. El exceso de precipitación, conocido como escorrentía superficial, se esparce rápidamente por la red de drenaje de la cuenca, concentrándose en los cauces. En función de sus características, esta red, en cambio, tiene una capacidad de evacuación predeterminada. El volumen de agua que llega en un momento determinado y no se puede evacuar en ese momento se almacena en el cauce, provocando que suba el nivel del agua (Sánchez, 2018).

**2.2.1.10. Caudal máximo y periodo de retorno.** Al dimensionar un proyecto hidráulico destinado a soportar caminos, como los vértices de un acantilado, diques para control de inundaciones, o un proyecto que necesita cruzar un río o un arroyo por seguridad, como un puente, es uno de las más consideraciones cruciales. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, s.f).

Usando la fórmula racional, el caudal es igual a un porcentaje de precipitación multiplicado por la superficie del estanque multiplicado por el coeficiente de escorrentía, cuyo valor varía según el tipo de superficie sobre la que se esconda el agua.

**2.2.1.10.1. Método racional.** El método racional es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia, escurrimiento, es muy utilizado en el diseño de drenajes. La expresión del método racional es:

$$Q = CIA \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Y si I (intensidad) se expresa en mm/h, A (área de la cuenca) en km<sup>2</sup>, y Q (caudal) en m<sup>3</sup>/s la expresión es:

$$Q = CIA \cdot 0.278 \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

**2.2.1.10.2. Coeficiente de Escorrentía.** De acuerdo a IBÁÑEZ ASENSIO, (2011) establece “Representa la fracción de agua total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez ha saturado el suelo por completo. Su valor depende de las características concretas del terreno que determinan la infiltración del agua en el suelo” (P.3).

**2.2.1.10.3. Curva Intensidad, Duración y Frecuencia.** Basado en la correlación entre la severidad de la lluvia, su duración y su frecuencia, es el método más utilizado para describir el sufrimiento del diseño. Su creación está frecuentemente restringida como resultado de la limitada disponibilidad de datos pluviográficos como resultado de las cortas longitudes de registro y la baja cobertura espacial de las estaciones.” (Morresi & Carrillo, 2019)

**2.2.1.10.4. Histograma.** Es una ilustración de gráfico de barras que se usa para mostrar cómo se distribuye un conjunto de datos. Permiten obtener una "perspectiva principal" o una visión general de cómo se distribuye la muestra o la población en relación con una característica cuantitativa en curso. (Superprof, 2022)

**2.2.1.10.5. Hietograma.** Según Pomonti, (2013) establece “Es un gráfico que permite conocer la precipitación de un lugar a través del tiempo de la tormenta”. (P.03)

### 2.2.3. Topografía.

Según Alcántara, (2014) establece “Es una ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la tierra, así como la

representación en plano de una porción (limitada) de la superficie terrestre, es decir, estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada” (P.02)

**2.2.3.1. Topografía de la cuenca.** La topografía o el relieve de una cueva pueden tener un mayor impacto en la respuesta enterrada que su forma. Tenga en cuenta la pendiente mediana al estudiar y analizar la topografía de una cuenca, que indica si se encuentra en una región montañosa o en zonas bajas. (Alcántara, 2014).

**2.2.3.2. Levantamientos topográficos.** Se realizan levantamientos topográficos para determinar la configuración del terreno y su ubicación en la superficie del terreno, así como si está compuesto por elementos naturales o estructuras hechas por el hombre. Durante un levantamiento topográfico, se recopilan los datos necesarios para la representación gráfica o la creación de un mapa del área de estudio. Las herramientas necesarias para la representación gráfica o creación de mapas topográficos. (Alcántara, 2014)

**2.2.3.3. Estación Total.** Una de las grandes ventajas de levantamientos con estación total es que la toma y registro de datos es automática, eliminando los errores de lectura, anotación, transcripción y cálculo; ya que con estas estaciones la toma de datos es automática (en forma digital) y los cálculos de coordenadas se realizan por medio de programas de computación incorporados a dichas estaciones. Generalmente, estos datos son archivados en formato ASCII para poder ser leídos por diferentes programas de topografía, diseño geométrico y diseño y edición gráfica.

## **2.2.4. Informe de mecánica de Suelos.**

**2.2.4.1. Calicatas.** Son técnicas empleadas para facilitar reconocimientos y estudios de índole geotécnica, estudios edafológicos y pedológicos en un terreno y

superficie, los mecanismos para la obtención son a través de herramientas manuales e instrumentos de ensayo especializados.

Estas para realizar el estudio varían entre 1.50 m de largo, 0.80 m de ancho y 2.00 a 3.00 m de profundidad, aproximadamente. Esta profundidad puede variar debido a la presencia de factores limitantes tales como capas endurecidas, elevada gravosidad o pedregosidad dentro del perfil, afloramientos rocosos, nivel freático cerca de la superficie, etc.

#### **2.2.4.2. Número de calicatas según el nivel de levantamiento de suelo.**

Del nivel muy detallado o de primer orden

El nivel muy detallado o de primer orden se realiza para usos muy intensivos del suelo, que requieran información muy detallada de las características, distribución y su variabilidad. Generalmente es realizada en pequeñas áreas y para resolver problemas específicos.

Estos estudios se realizan para fines de planificación del riego y drenaje, cultivos, parcelas experimentales, lugares de edificación y otros usos, que requieran un conocimiento muy preciso y detallado de los suelos, y su variabilidad

Intensidad de observaciones: se hará por lo menos una (01) calicata por cada hectárea del área del vaso de la cuenca, necesarios para delimitar la unidad de suelos.

#### **2.2.5. Pre dimensionamiento y diseño hidráulico de la presa.**

##### **2.2.5.1. Criterios para el diseño de una presa.**

- La presa, la cimentación, los estribos y taludes deben ser estables para resistir la carga máxima generada por el embalse con sismo, para evitar deslizamientos y distorsiones de esfuerzos de corte en la presa y su cimentación.

- El relleno, incluyendo la cimentación, deben ser impermeables, considerando los medios para controlar las fugas, asegurando el funcionamiento con total seguridad para conservar la capacidad de la represa.
- El borde libre debe ser bastante alto para impedir que las olas rebosen sobre la corona durante el sismo, impidiendo el asentamiento y colapso del relleno. El borde libre se puede perder es que existen movimientos relativos entre el vaso y presa por fallas geológicas locales.
- El aliviadero de demasías debe tener una capacidad suficiente para eliminar todo el exceso de agua que no se requiera en la presa, y evitar que esta se llene al máximo y colapse.
- Los gradientes hidráulicos, la presión de infiltración y las velocidades de infiltración dentro y bajo la presa deben ser bajos o suficiente para que el material de relleno soporte.
- Las pendientes de los taludes deben ser planas para aseverar que los esfuerzos internos del cuerpo de la presa y la cimentación se conserven dentro de límites permisibles.
- La importancia del medio ambiente.

#### **2.2.5.2. Factores para elegir el sitio de una presa.**

- Un sitio o lugar conveniente es generalmente una sección estrecha de un valle, dependientes laterales fuertes, donde se pueda disponer de un gran almacenamiento con una pequeña presa o dique, optimizando así la eficacia de la inversión.
- Otro sitio adecuado o aceptable es que exista disponibilidad de material que se va a emplear en la presa en lugares aledaños.

- Otro lugar propicio es que el horizonte donde estará el vaso sea de material impermeable para evitar la excesiva infiltración. Asimismo, se puede construir en terrenos permeables, siempre y cuando se tome en consideración este dato en el diseño.
- No es conveniente construir un dique o represa en lugares cercanos o encima de una población, pues si el dique falla puede causar daños, estragos y hasta la desaparición de la población aledaña.
- Se debe evitar lugares donde se generen grandes áreas de represamiento con poca profundidad, ya que esto produce una excesiva evaporación y favorece al crecimiento de plantas acuíferas, que malogran la calidad del agua.

#### **2.2.5.3. Factores que intervienen en la elección del tipo de presa.**

- La topografía del terreno, las laderas bajas y onduladas sugieren una presa de tierra, por otra parte, dependiendo de esta se determinará el lugar del aliviadero.
- La geología y condiciones de los cimientos, los cimientos de arcilla son adecuados para presas de tierra, pero deben tenerse cuidado con los asentamientos.
- Por el tipo de material disponible, si existen zonas de préstamo donde pueda obtenerse material para una presa de tierra podría ser la opción más económica
- Los factores hidráulicos como régimen hídrico y cantidad de precipitaciones en las presas de almacenamiento pueden afectar mucho la construcción, por ello es importante tomarlo en cuenta al momento de elegir para que la ejecución del proyecto sea viable.
- El aliviadero es muchas veces una de las partes más caras de la presa, una de las disposiciones más comunes es la utilización como aliviadero de un canal excavado en uno o los dos estribos fuera de los límites de la presa o algún punto alejado de ella esto da posibilidad de elegir entre presa de tierra y escollera.

- Los terremotos son un factor importante para elegir el tipo de presa porque este afecta el diseño y encarecen sus costos, debe tenerse cuidado en zonas de alta sismicidad.

#### **2.2.5.4. Tipos de presas.**

Existen bastantes clasificaciones, dependiendo de:

- Según su forma de transmitir las cargas a las que se es sometida: de gravedad, de arco, de bóveda o doble arco, de contrafuertes y mixta (compuesto por numerosos tipos de formas).
- Según sus materiales empleados en su construcción: de materiales sueltos (homogénea, de escollera, de núcleo de arcilla, con pantalla asfáltica, con pantalla de concreto), de enrocado, con pantalla de concreto, de concreto (convencional o compactado con rodillo).
- Según su aplicación: filtrante, de control de avenidas, de derivación y de almacenamiento.

##### ***2.2.5.4.1. Según su forma de transmitir las cargas.***

*2.2.5.4.1.1. Presa de gravedad.* Depende totalmente de su propio peso para asegurar su estabilidad, al absorber y transmitir el empuje del embalse hacia el suelo, por lo que debe ser bastante estable para evitar esfuerzos de más, ya sea en la presa o en su cimentación. Su estructura lateral es triangular, con la base ancha que se va estrechando a medida que se asciende hacia la parte superior. La parte inferior del dique es más ancha debido a que la presión en el fondo del embalse es mayor que en la superficie, por ende, la presa tendrá que soportar más presión en su base que en sus estribos. Son las presas de mayor durabilidad y menor mantenimiento.

Dentro de las presas de gravedad existen:

2.2.5.4.1.1.1. *Presa de contrafuertes o aligerada.* Es aquella en la que domina el contrafuerte para reducir los materiales de construcción, para subyugar la supresión y reducir los efectos térmicos al aumentar la superficie. El embalse empuja la presa, pero los contrafuertes reaccionan en la otra dirección e impiden el volteo de la presa, y que el peso de la presa de contrafuerte estimula la estructura hacia abajo dentro del suelo.

2.2.5.4.1.1.2. *Con Pantalla de material suelto.* Según Martínez, (2007) establece “Este tipo de terraplén se construye con material permeable (arena, agua o roca), estableciéndose una pantalla de material impermeable que constituye una barrera que impide el paso del agua” (P. 227).

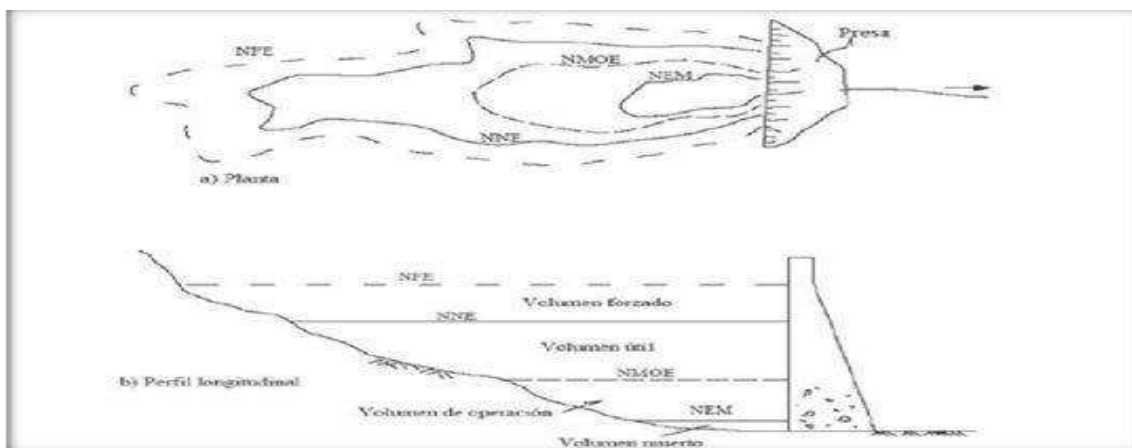
#### **2.2.5.4.2. Según los materiales empleados en la construcción.**

2.2.5.4.2.1. *Presas de material suelto.* Residen en un relleno de tierras, que aportan la resistencia necesaria para aguantar el empuje de las aguas. Los materiales más usados en su construcción son rocas, gravas, arenas, limos y arcilla, aunque dentro de todos estos los más manifiestos son las rocas y las gravas. Estas presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles material impermeabilizante. Estas estructuras soportan siempre por gravedad, pues la débil cohesión de sus materiales no les permite transportar los empujes del agua a la cimentación y taludes. Este elemento puede ser arcilla (ubicado en el centro del relleno) o una pantalla de concreto, situado en el centro del cuerpo de la presa. Estas presas tienen el problema que, al ser rebasadas por las aguas en una avenida, corren el peligro de derrumbarse y arruinarse.

#### **2.2.5.4.3. Según su aplicación.**

2.2.5.4.3.1. *Presas de almacenamiento.* Según Ministerio de Agricultura y Tierra, (2015) establece “Es aquella que su finalidad es el reservorio y retención del recurso hídrico, la cual es captada para irrigación, recreación y abastecimiento” (P.08).

**Figura 2.** Volumen útil, altura de la presa

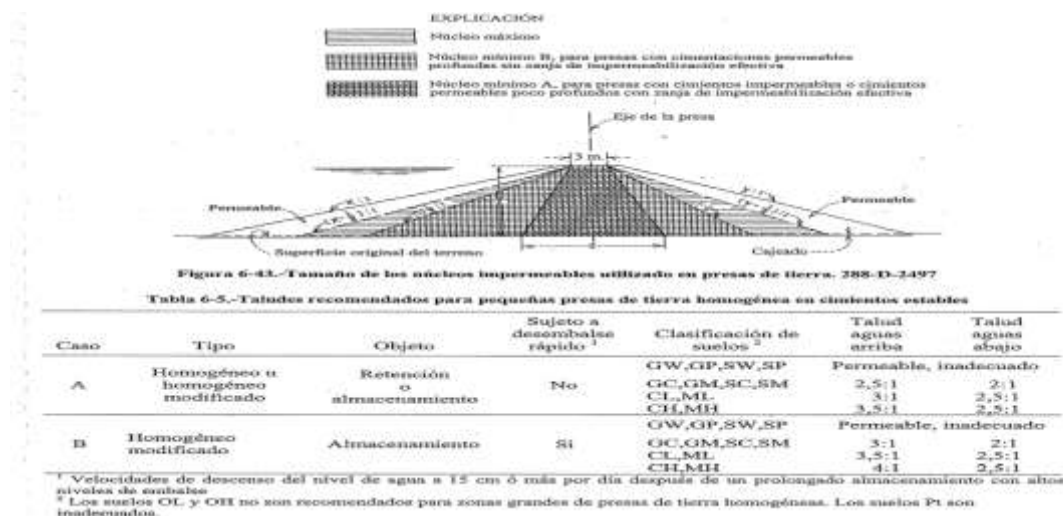


Nota. En la figura 2, se aprecia un gráfico referente al volumen útil y la altura de la presa de tierra, datos recuperados de [Diseño de Presa de Tierra | Reservorio | Represa \(scribd.com\)](https://www.scribd.com/document/123456789/Diseño-de-Presa-de-Tierra-Reservorio-Represa)

El almacenamiento de un reservorio (se puede dividir en tres usos principales):

- Capacidad útil o activa: utilizada para la regulación del flujo aguas abajo y para el suministro de agua, desarrollo recreativo o producción hidroeléctrica.
- Volumen Muerto: reservado principalmente para la recolección de sedimentos.
- Adicionalmente, incluye un volumen inactivo, dado que el punto de toma debe estar suficientemente por debajo del almacenamiento útil para vaciar totalmente el embalse.
- Almacenamiento para Forzado: reservada para la laminación de caudales durante eventos de avenidas extremas. Junto al volumen comprendido en el borde libre, constituyen la capacidad de contingencia, la cual controla adicionalmente otros fenómenos como el oleaje producido por vientos dominantes.

**Figura 3.** Modelo de predimensionamiento de la presa de tierra



**Nota:** En la figura 3, se aprecia un ejemplo de modelo de predimensionamiento de la presa de tierra, datos obtenidos de (Martínez et al., 1970)

## 2.2.5.5. Acumulación de sedimentos en presas.

**2.2.5.5.1. Método de Fleming:** Este método fue desarrollado por Fleming para estimar la suspensión de sedimentos en los lagos de los Estados Unidos y utilizó datos de más de 250 lagos en varios países del mundo (Villón, 2002).

En base a estos antecedentes definió una tasa media anual de sedimentos de transporte de sedimentos, en función del caudal medio anual y de los grados de cobertura vegetal (Villón, 2002).

La ecuación propuesta del método es:

$$Q_s = aQ^n \quad (\text{Ec. 2.20})$$

$Q_s$  = Transporte medio anual de suspensión en toneladas

$Q$  = Caudal medio anual

$a, n$  = Constante definidas por cobertura vegetal

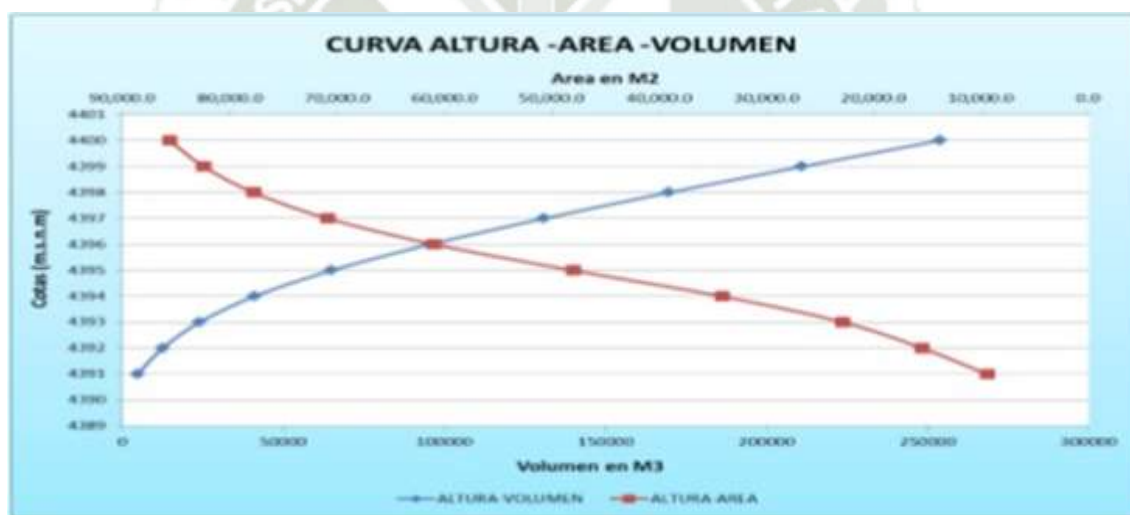
### Cobertura Vegetal:

|                                      | n    | a     |
|--------------------------------------|------|-------|
| Variada de hoja ancha y coníferas    | 1.02 | 117   |
| Florestación conífera y pastos altos | 0.82 | 3523  |
| Pastos bajos y arbustos              | 0.65 | 19.26 |
| Desierto y arbustos                  | 0.72 | 37.73 |

## 2.2.5.6. Pre dimensionamiento.

**2.2.4.6.1. Cálculo de la altura de la presa.** Este se realizará con prueba y error con el gráfico curva-altura-área-volumen, y la intersección de estas 2 gráficas determinará la altura de la presa.

**Figura 4.** Modelo de curva, área y volumen



Nota: En la figura 4, se aprecia un ejemplo representativo de un modelo de curva, área y volumen, datos tomados de (Ascue, 2018)

**2.2.5.6.2. Ancho de corona.** La altura de la presa y el análisis de estabilidad determinan esta medida, pero se recomienda un mínimo de 3 m. Existen diversas normas de países que brindan fórmulas para determinarlo; una de las más conocidas es la expresión recomendada por (Martínez et al., 1970)

**2.2.5.6.3. Los cimientos.** En una presa de tierra existen 3 tipos de cimientos por sus materiales y cada uno requiere diferente tipo de tratamiento para su adecuación, aparte de un diseño considerando la presencia de corrientes de agua que pueden o no atravesarlo.

- Cimientos de roca
- Cimientos de material grueso (arena y grava)
- Cimientos de material grano fino (limo y arcilla)

**2.2.5.7. Diseño de Borde Libre.** Es la distancia vertical entre la cresta de la presa y la altura máxima del agua en el vertedero para la inundación de diseño.

#### **2.2.5.8. Diseño del ancho de la cresta**

- Depende principalmente del uso que va a tener la cresta (vía, mantenimiento, etc.)
- La U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS recomienda un ancho de mínimo 7.5 metros para permitir una compactación adecuada de la presa.

##### **2.2.5.8.1. Alineamiento del eje de la presa.**

- Para presas largas se recomienda que sea recto.
- Deben evitarse los cambios fuertes de esfuerzos y agrietamientos.
- Las presas cortas y altas deben ser convexas hacia aguas arriba para que el agua comprima los núcleos contra los estribos. El radio de núcleos contra los estribos. El radio de curvatura varía de 300 a 1.000 metros.

##### **2.2.5.8.2. Estribos laterales.**

- Debe evitarse la entrega del alineamiento sobresalientes angostos de la ladera.
- Deben excavarse los materiales meteorizados o sueltos (taludes, etc.)
- Puede requerirse bajar la pendiente de los taludes del terraplén cerca de los estribos.
- Puede requerirse inyectar los estribos.
- Debe proveerse un sistema de control de erosión en la unión del talud de la presa y de los estribos.

**2.2.5.8.3 Las filtraciones de las presas.** Las filtraciones de agua están presentes en casi todas las presas dependiendo de sus formas, puede afectar al manto aguas abajo, también puede afectar a la cimentación, generalmente en cimentaciones de material grueso, produciendo sifonamiento y sifonamiento inverso, aunque estos pueden estabilizarse con el tiempo se recomienda que no se presenten en la presa también erosión interna y por último pueden causar en el terraplén supresiones excesivas.

El cálculo de infiltración se hace mediante redes de flujo y generalmente con un software especializado o mediante algún método de la mecánica de suelos.

Estos problemas son controlados dándoles un tratamiento especial a la cimentación para que soporte las condiciones nuevas y a su vez aumentando un nuevo factor de seguridad que considere la presión y el efecto de las infiltraciones en la presa. La geo membrana ayudará a evitar las filtraciones laterales y estará la presa protegida contra las filtraciones, omitiendo dicho cálculo. El problema de las filtraciones es de las líneas equipotenciales, del agua que sube por capilaridad y supresión hacia la cimentación de la presa, siendo necesario una cimentación estable, compactada y arcillosa.

**2.2.5.8.3.1. Caudal de filtración.** Para calcular el caudal de infiltración es necesario determinar el coeficiente de permeabilidad del cimientto. Este coeficiente es en función del tamaño y granulometría de las partículas gruesas, la cantidad de finos y la densidad de la mezcla. (Villón, 2002)

**2.2.5.8.3.2. A partir de las líneas equipotenciales y de flujo.** También denominadas conjunto de redes de flujo, permite establecer la caracterización geotécnica e hidráulica, para ello se deben establecer ciertas condiciones en los bordes en caso de condicionar los contornos de la presa, los mismos que estarán sometidos a la presión que el agua genera y varía de acuerdo también a la geometría estructural que tenga la presa, obteniendo así el caudal de filtración de salida. (Villón, 2002)

Estas líneas o conjunto de redes de flujo, se deben establecer para las condiciones en cada una de las paredes de la presa debido a los procesos de supresión producto de la fuerza del agua que esta genera en cada uno de los contornos de la presa de tierra.

#### 2.2.5.8.4. *Análisis de estabilidad*

##### 2.2.4.8.4.1. *Revisión al Deslizamiento.*

$$\sum F_R$$

$$F_s(\text{Deslizamiento}) = \sum F$$

(Ec. 2.21)

Siendo las fuerzas resistentes al deslizamiento El rozamiento del suelo con la presa=  $F_r$

La presión del agua aguas arriba de la presa =  $F_h$

Siendo las fuerzas deslizantes

La presión del agua aguas abajo de la presa=  $F_H$

La fuerza de rozamiento del suelo puede expresarse como la sumatoria de fuerzas verticales multiplicadas por la tangente del Ángulo de fricción más la cohesión del suelo

$$F_r = r_f = \sigma' \tan \phi' + C$$

(Ec. 2.22)

El ángulo de fricción del suelo reducido llega a ser del orden de un medio a dos tercios del ángulo  $\phi'$  De manera similar, la cohesión C se puede reducir al valor de 0.5c a 0.67c, esto es recomendable, pero depende del criterio de cada ingeniero.

$$\sum F_R F_s (\text{Deslizamiento}) = \sum D = \sigma' \tan \phi' + C + F_h F_h$$

(Ec. 2.23)

Este factor de seguridad debería ser mayor a 1.5 como mínimo

#### 2.2.5.8.4.2. Revisión al Volcamiento

$$\sum M_R$$

$$F_s(\text{volteo}) = \sum M \quad (\text{Ec. 2.24})$$

$M_R$ = Momentos que tienden a resistir el volteo respecto al punto de volteo

$M_0$ = Momentos que tienden volcar la estructura con respecto al punto de volteo

Las fuerzas que buscan en volteo en presas son generalmente. Las presiones del agua aguas abajo de la presa =  $F_H$

Las fuerzas que buscan resistir el volteo generalmente el peso de la presa =  $F_w$

Las presiones aguas arriba de la presa =  $F_h$

Las fuerzas multiplicadas por su brazo darán lugar a los momentos actuantes en la presa, este brazo dependerá de la geometría de la presa.

Este factor de seguridad varía entre 1.5 a 2 dependiendo también del criterio del ingeniero.

Estos chequeos para la estabilidad, sobre todo de deslizamiento y volteo, son fundamentales para presas de concreto. No obstante, en las presas de material suelto (dique de tierra), el único chequeo de estabilidad es el deslizamiento de taludes.

**2.2.5.9. Geosintéticos.** Originalmente empleados en aplicaciones de ingeniería geotécnica para mejorar, modificar o conservar las propiedades de la superficie con la que entran en contacto, son materiales que se fabrican principalmente a partir de productos derivados del petróleo (Soluciones Ambientales, 2017).

#### 2.2.5.9.1. *Tipos de Geosintéticos.*

- Geotextiles
- Geomallas o geogrillas
- Georedes
- Geoceldas
- Geomembranas
- Geocompuestos
- Geomanta

#### 2.2.5.10. **Fuerzas Actuantes.**

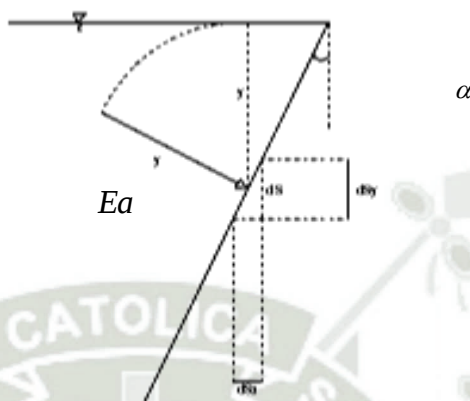
**2.2.5.10.1. *Peso propio.*** Es la primera fuerza requerida en cualquier estructura. Una presa es una fuerza pasiva, fundamental y continua que ayuda a mantener la estabilidad. El peso de la presa viene determinado por su forma y dimensiones, así como por el peso específico de los materiales. El proyecto especifica la forma y las dimensiones, pero la profundidad de la cimentación, así como el peso, pueden cambiar a medida que avanza la obra. En cuanto al otro componente (precio), se debe determinar si los materiales son de hormigón o sueltos.

**2.2.5.10.2. *Empuje Hidrostático.*** Es la fuerza primaria en el trabajo en un asedio. En una sección transversal hay dos componentes: horizontal (H) y vertical (V), siendo el primero el más importante en las presas de hormigón y el segundo en los materiales sueltos en general.

La presión del agua sobre una superficie es normal y su efecto es proporcional al peso de la unidad de columna de líquido que gravita sobre cada punto. Si el angular que forma la superficie con la vertical tiene dos componentes, la fuerza elemental que actúa

sobre una superficie  $dS$  y la profundidad por debajo del nivel del agua tienen dos componentes:

**Figura 5.** Empuje hidrostático



Nota: En la figura 5 se aprecia el empuje hidrostático presente en la presión del agua, información tomada de (Villón, 2002)

$$H = \int_0^h y dy = \text{area} \quad Obc = \frac{1}{2} h^2 \quad (\text{Ec. 2.25})$$

$$V = \int_0^h y dx = \text{area} \quad Oab \quad (\text{Ec. 2.26})$$

En todo caso es muy importante hacer notar que el empuje hidrostático debe comportarse siempre hasta el punto más bajo de la cimentación, y no hasta la superficie del terreno, porque el agua penetra por el contacto entre la presa y la roca con toda su presión.

**2.2.5.11. Análisis Sísmico Estático.** Un efecto sísmico produce dos efectos en la presa, los cuáles son:

1- La oscilación del terreno de apoyo se transmite a la base y estribos de la presa y produce en ella unas tensiones suplementarias.

2- Los desplazamientos de la presa por este motivo, actúan sobre el agua del embalse lo que, por reacción, da lugar a un empuje suplementario sobre el talud aguas arriba.

Asimismo, que, a parte de estos efectos, el sismo podría provocar directamente una onda en el mismo embalse, con el consiguiente impacto sobre la presa e, incluso, el eventual desbordamiento sobre ella.

Aunado a ello, otro efecto posible, aunque remoto, es que el sismo provoque un deslizamiento de estratos en las laderas del embalse; lo que podría dar lugar también a una ola peligrosa.

En tal sentido que, para las consideraciones el proyecto se va a basar en lo que indica la norma. Para la región de Cusco la aceleración que se debe usar para el análisis pseudo - estático, debe estar entre el 15% y 17% de la aceleración de la gravedad.

**2.2.5.12. Estabilidad de taludes.** Para la realización del análisis de estabilidad de taludes de la presa, se usan métodos desarrollados de acuerdo a la sección y tipo de material a analizar, los mismos que se detallan a continuación:

**2.2.5.12.1. Métodos del equilibrio límite.** En el análisis de estabilidad de talud, el método límite se basa en la resistencia al deslizamiento de un talud, teniendo en cuenta ciertas hipótesis sobre el mecanismo de falla, las condiciones de equilibrio, el nivel de frecuencia y la baja resistencia, etc.

**2.2.5.12.2. Bishop 1954 circular de momentos.** Suponga que no existen fuerzas de corte entre dovelas. Reducir el número de errores. Como no se han establecido condiciones de equilibrio para la solución, la cual es incierta. El cálculo se realiza para determinar el equilibrio de momentos con respecto.

**2.2.5.12.3. Janbu Simplificado 1968 cualquier forma de fuerzas.** De manera similar, Bishop asume que no existe corte fuerte entre las dovelas. Este método emplea un factor de corrección para tener en cuenta este error potencial. Los niveles de seguridad son relativamente bajos.

**2.2.5.12.4. Golpe de Ariete.** Un "golpe de ariete" es un fenómeno hidráulico causado por cambios en la velocidad del fluido. La propagación de ondas de presión y depresión a lo largo de las depresiones es la base de este fenómeno. (Ingeniería de Fluidos, 2022)

**2.2.5.12.5. Dados y Anclajes.** Los anclajes al suelo transmiten cargas muertas al suelo para resistir fuerzas que de otro modo requerirían grandes cementerios. Aseguran grandes estructuras como presas, mejorando la estabilidad del talud y evitando las turbulencias provocadas por los altos niveles de agua.

### **2.2.5.13. Captación.**

Es una estructura de derivación que sirve para elevar el nivel de las aguas y se construye en sentido transversal al río con fines de captación, siempre y cuando sea necesario. (Design of Small Canal Structures, 1978).

**2.2.5.14. Cámara Rompepresión.** La cámara rompe presión (CRP) es una estructura hidráulica utilizada en líneas de conducción de agua. Suelen utilizarse en zonas con un desnivel de más de 50 metros. (Design of Small Canal Structures, 1978).

### **2.2.5.15. Obras de hidrotecnia.**

**2.2.5.15.1. Vertedero o aliviadero de demasías.** El papel de estos aliviaderos en las presas de almacenamiento, es permitir que el exceso de agua o agua producida escape de las inundaciones o canales que proporcionan un volumen excesivo para el diseño original de la presa (Cahuana & Yugar, 2009).

Una vez estimada el caudal de máxima avenida en la Microcuenca, se procede a estimar las dimensiones del aliviadero de demasías para el caudal máximo.

#### **2.2.5.15.2. Toma de fondo.**

Es una estructura hidráulica y está relacionada con la presa hidráulica. Su función es:

- Asegurar el flujo ecológico aguas abajo de la presa.
- Permitir el vaciado del embalse para trabajos de mantenimiento en la presa.
- Reducir el volumen de materia sólida depositada cerca de la presa (control de sedimentos).

Dado que el agua sale de la presa con una presión considerable, si el chorro no se controla completamente, puede causar erosión local y poner en peligro la estabilidad de la presa en sí. Por esta razón, la descarga de fondo siempre está equipada con un dissipador de energía (Cahuana & Yugar, 2009)

#### **2.2.5.16. Criterios para su funcionalidad.**

- El perímetro del dique, cimentación, taludes y embalse debe ser estable y no deformarse bajo ninguna condición de carga por construcción del dique, operación de embalse, represión o sismos.
- Controlar el flujo caudal de filtrado por el perímetro del dique, cimientos, estribos y embalse para evitar supresiones, erosiones internas, inestabilidades y remoción de material por disolución o erosión que provocan roturas, juntas o cavidades.
- El embalse perímetro debe ser estable bajo cualquier condición operativa para evitar el deslizamiento de ladera en el embalse.
- Debe evitar cualquier vertido para la coronación durante la avenida del proyecto construyendo un aliviadero y desagües suficientes.
- El terraplén debe proceder con precaución.

- El talud de la cuenca superior debe protegerse de la erosión de las olas y de la coronación, mientras que la salud de la cuenca inferior debe protegerse de la erosión del viento y la lluvia.

### 2.3. Marco Histórico

La población que se beneficiará, se encuentra en el distrito de Santo Tomás, en su gran mayoría en el poblado de Santo Tomás, la cual posee actualmente una población de 27403 habitantes. El departamento de Cusco es uno de los 24 departamentos que posee el Perú, el cual a su vez posee 13 provincias, dentro de las cuales se encuentra Chumbivilcas, y esta cuenta con 9 distritos hasta la fecha, los cuales son: Santo Tomás, Capacmarca, Colquemarca, Llusco, Quiñota, Velille, Chamaca, Livitaca y Pulpera Condes. La capital de la provincia de Chumbivilcas es Santo Tomás, población que será beneficiada con nuestro proyecto de tesis de represamiento de la cuenca de Queñamayo. La superficie territorial de la provincia de Chumbivilcas es de, 5371 km<sup>2</sup>, y la de Santo Tomás de 1924 km<sup>2</sup>, ubicada a una altitud de 3678 msnm. Lamentablemente, las vías de comunicación y acceso, como son las carreteras o pistas, son deficientes. Esto se debe principalmente a causa del abandono por parte de los entes gubernamentales que toman en prioridad otras construcciones o en otros particulares, hacen caso omiso a la realización de las vías de comunicación; ya que las vías de comunicación es lo primordial para el inicio del progreso, desarrollo de una región y provincia, habiendo vías de comunicación óptimas es más fácil que haya inversión lo que hace más accesible la funcionalidad en la región. Lo mismo acontece con el problema del recurso hídrico, que habiendo fuentes en abundancia de donde obtenerla, almacenarla y posteriormente distribuirla, por falta de interés de los entes gubernamentales hasta la fecha hay escasez de agua en este poblado. Es necesario priorizar la inversión y destinar estos recursos económicos a la población,

los cuales, utilizándolos, serían suficientes si se emplean correctamente (Chumbivilcas, 2021).

El clima del distrito se enmarca fundamentalmente en dos épocas del año, la de lluvias en verano y las heladas en el invierno que determinan las actividades económicas de la población en general. Las características geomorfológicas, altitudinales determinan las variaciones climáticas; en la zona baja como las comunidades de Qoyo y Colca se muestra un clima abrigado y con relativa humedad, mientras en las comunidades de Iñapata, Huamanripa, Yavina y Picutani las condiciones climáticas son duras donde la producción se limita a la siembra de papa y granos andinos como la qañihua y quinua. Se caracteriza por tener un clima seco, con temperaturas que durante la época de lluvias de noviembre a marzo oscilan entre los 18 C° y los 27C°, en tanto que, en épocas de invierno, durante los meses de mayo a septiembre, las temperaturas oscilan entre los 20 C° y menos 4C°. Al igual que en las Provincias Altas del Cusco, se dan años con indicadores extremos: excesivas lluvias, nevadas y granizadas. Años de sequía extrema y fuertes heladas (Chumbivilcas, 2021).

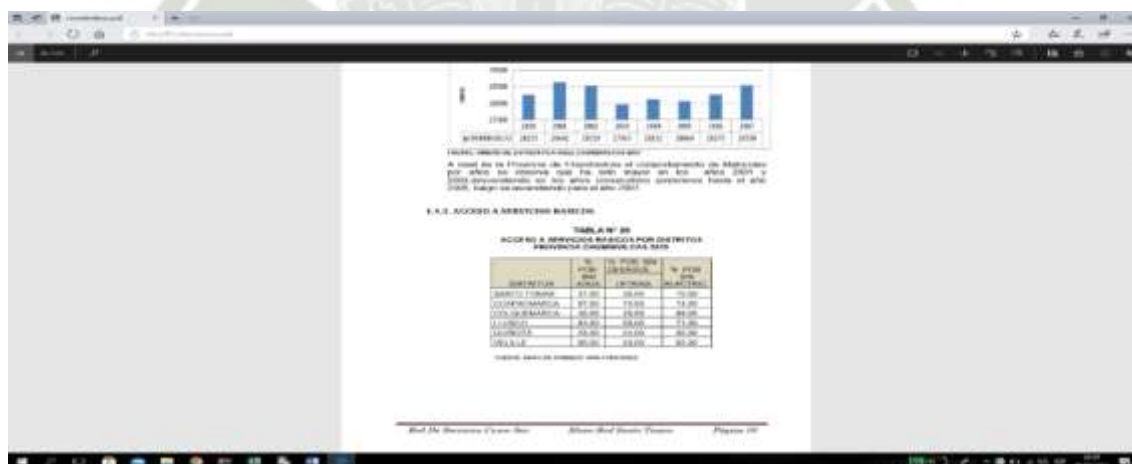
Su territorio se caracteriza por una variada y accidentada topografía en la que reinan las altiplanicies, las pendientes pronunciadas y las superficies colinosas, que conforman fértiles valles interandinos. La zona alta andina, formada por valles, quebradas, laderas y extensas llanuras, es el espacio donde se tienden en mayor medida las actividades sociales y económicas de la población (Chumbivilcas, 2021).

Las actividades económicas principales de Chumbivilcas y también de Santo Tomás son: La agricultura, la ganadería, la artesanía y la minería. La mayor cantidad de mineral aurífero se encuentra justo en el distrito de Santo Tomás, con 61.260 tm por Ha, con minerales principalmente de oro, plata, cobre y hierro (Chumbivilcas, 2021).

Chumbivilcas, y naturalmente Santo Tomás, posee una cultura muy rica y diversa, conocidos como los Q'orilazos, que significa lazo de oro en quechua, el cual se expresa en sus costumbres, vestimentas, tradiciones como pelea de gallos, corrida de toros, doma de potros y el más famoso de todos el “takanacuy”, una costumbre que consiste en solucionar problemas o discrepancias, entre pobladores, varones y mujeres, en una pelea a puño limpio (contacto físico), y que se realiza los 25 de diciembre de todos los años junto con las “Waylias” danza tradicional chumbivilcana memorable. (Chumbivilcas, 2021).

La provincia de Chumbivilcas, lastimosamente desde tiempos pasados, ha sufrido de alto índice de pobreza y por ende un bajo índice de desarrollo humano. Asimismo, gran parte de la población no tiene acceso a los servicios básicos como se muestra en las imágenes o cuadros que a continuación se muestran:

**Figura 6.** Gráfico y tabla de acceso y servicios básicos en Chumbivilcas



Nota: En la figura 6, se observa el gráfico y tabla representativa del acceso y servicios básicos en Chumbivilcas, datos tomados de: Mapa de pobreza 2008- FONCODES

**Figura 7.** Gráfico de acceso a servicios básicos por distritos en Chumbivilcas



Nota: En la figura 7, se aprecia el gráfico correspondiente a servicios básicos en cada uno de los distritos de Chumbivilcas. Datos tomados de: Mapa de pobreza 2006- FONCODES

**Figura 8.** Tabla de acceso a servicios de salud por distritos en Chumbivilcas



Nota: En la figura 8, se aprecia la tabla de acceso a servicios de salud por distritos en Chumbivilcas, datos tomados del: Equipo para el desarrollo humano, 2010

**Figura 9.** Tabla de índice de desarrollo por distritos en Chumbivilcas



Nota: En la figura 9, se aprecia la tabla correspondiente al índice de desarrollo por distritos en Chumbivilcas, datos obtenidos de (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA, 2019)

Es por ello que, la Provincia de Chumbivilcas es una zona con el riesgo económico mayor con respecto a otras zonas, lo que determina que los problemas se den a consecuencia de este indicador de pobreza. Así mismo, los índices de pobreza se relacionan con la población de las zonas rurales, donde carecen de los servicios básicos

(agua, luz, desagüe) y la inaccesibilidad a los servicios de salud, educación, son estratos donde las muertes maternas, perinatales son altas, como consecuencia de la disparidad de la distribución de los recursos económicos. De acuerdo al INEI, a nivel nacional la pobreza total es el 27.8% y la pobreza extrema es el 6.3%, con respecto a la región Cusco es el 29.7% de pobreza total y el 5.7% de la pobreza extrema. Aparentemente, existen avances en la reducción de la pobreza en la última década, más que reducir, ampliaron las desigualdades regionales en el país debido a que la reducción fue más acelerada en las áreas urbanas que en las rurales. (Chumbivilcas, 2021)

El índice de desarrollo humano (IDH), el cual va de 0 a 1 donde 0 es lo ínfimo y 1 lo máximo, mide la calidad de vida que tiene una persona, incluyendo su educación, conocimientos, acceso a salud y servicios básicos. Chumbivilcas y Santo Tomás poseen un indicador aproximado de 0.20, el cual habla de un nivel de pobreza alto. Es decir, el crecimiento económico de la población es muy bajo y hace falta una mejora global en todo sentido. Con base en estos indicadores y al contexto histórico, social y económico, es que nos animamos a crear este proyecto social de represamiento de aguas pluviales para la mejora de la calidad de vida al brindar agua para todos y mejora económica por el consumo agrícola. Evidentemente, no solucionará todo este problema, pero definitivamente ayudará a mejorar gradualmente, lo que conlleva a que futuras generaciones puedan seguir incentivando el desarrollo y crecimiento de la región con proyectos de la misma índole y envergadura (Chumbivilcas, 2021).

#### **2.4. Antecedentes**

La población de Santo Tomás, capital de la Provincia de Chumbivilcas – Cusco, desde muchos años atrás veinte (20), viene sufriendo un desabastecimiento sostenido del recurso hídrico, en primer caso es por la falta de infraestructura adecuada al requerimiento

o demanda, la misma que no es atendida por la empresa de saneamiento actual ni por los entes gubernamentales, en segunda instancia es por la falta de proyectos técnica y económicamente factibles y en tercer argumento es por el alto crecimiento vegetativo de la población producto del éxodo del campo al pueblo. El abastecimiento actual del recurso hídrico de la población de Santo Tomás no pasa de 5 a 7 litros por segundo que son insuficientes para satisfacer la demanda actual, creemos que necesita un caudal de 40 litros por segundo aproximadamente, los cuales se pueden proveer con un proyecto definitivo.

La infraestructura actual que permite el recurso hídrico de Santo Tomás, se inicia en una bocatoma de derivación del río de Orccoma, ubicado exactamente en Tucuiri, la misma que se encuentra en mal estado de conservación, de tal forma que ya no permite captar eficientemente el caudal para el que fue diseñado.

En la planta de agua existe un reservorio de almacenamiento con dimensiones insuficientes para toda la población actual de Santo Tomás.

La línea de conducción entre la planta de agua y la población, es una tubería de PVC, cuyo diámetro conduce agua en un tirante menor al 50% de su diámetro total, pudiendo conducir de 3 a 4 veces más del caudal existente.

Existe un Proyecto denominado “AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE SANTO TOMÁS” elaborado por la Municipalidad de Santo Tomás y aprobado por la Región Cusco el año 2013 con un presupuesto de s/.13, 397,924.20, dicho monto fue ejecutado por la Municipalidad de Santo Tomás y la Región Cusco hasta por un monto financiero de 17, 507,992.30, quedando un saldo de 889,931.90 en poder de la Región Cusco.

El avance de la ejecución Física del Proyecto  
referido, a la fecha, es:

#### COMPONENTE 01-AGUA POTABLE

- SISTEMA DE CAPTACIÓN

Se ha concluido con la ejecución del sistema de captación de la fuente de Allhuacchullo con una captación de 40 lts/seg.

#### LÍNEA DE CONDUCCIÓN ALLHUACCHULLO (29.98 km)

Se ha avanzado el 99% de la línea de conducción con tubería PVC de 160 mm, falta la colocación de válvulas de romper, presión y otros.

#### RESERVORIO DE 500 M3

Se ha concluido con la construcción del reservorio de 500 m<sup>3</sup> de capacidad: RED DE DISTRIBUCIÓN

Se ha instalado una línea de aducción en 600 ml con tubería PVC de 160 mm.

#### PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Ya se encuentra ejecutada de poco caudal de producción

#### COMPONENTE 02-SISTEMA DE DESAGÜE

- RED COLECTORA DE DESAGÜE

Se construyeron los buzones de concreto y todas las conexiones domiciliarias.

#### COLECTOR PRINCIPAL

Se ha construido todos buzones de concreto con tubería EDUCACIÓN SANITARIA

Se ha sensibilizado a 512 beneficiarios del sistema de saneamiento. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

No se ha ejecutado la construcción de la planta de tratamiento de aguas servidas por falta de presupuesto. Como podemos apreciar, **existen avances de las obras de dicho proyecto** ya casi culminado; sin embargo, **no cumplen con las normas vigentes** impuestas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (R.M. 17-2018-VIVIENDA). Aunado a ello, si bien es cierto el proyecto fue aprobado en el año 2013, la creación del mismo fue casi a fines del anterior milenio, año 1999. Por la misma normativa mencionada con anterioridad, dicho proyecto queda obsoleto y desfasado. La normativa dice 20 años, los cuales ya pasaron y **es necesario la implementación de un nuevo proyecto** con datos actuales como nuestra propuesta.

Asimismo, existe la **posibilidad** directa de un **desarrollo agrícola** aproximadamente de 1000 ha. Dichos terrenos se encuentran en la parte baja de la represa proyectada que fácilmente nos permite un riego tecnificado de **pastos naturales por aspersión**. Dando como resultado final una cuenca lechera que la comercialización de estas eleva el nivel socioeconómico de los pobladores.

## 2.5. Estado del Arte

### Introducción

En el transcurso de la historia el agua ha sido el recurso más limitante para el desarrollo social y económico de una población y el almacenamiento de este vital líquido siempre ha sido comúnmente dado por represas que retienen el agua, en el caso de este estudio que ahora nos estamos enfocando es por qué usar presas de tierra y no de otro material como el concreto, lo hace más factible y accesible. Asimismo, buscaremos por qué casi todas las presas de tierra (escollera), llevan núcleo de arcilla y si habría alguna forma de evitarlo e innovar, y finalmente, pero no menos importante, el control de sedimentos, el cual ha sido un problema para todas las presas desde sus inicios porque se pierde la capacidad de almacenamiento con el paso del tiempo, y estos sedimentos se

deben eliminar al menos parcialmente. Por ende, citaremos diversas investigaciones que a nuestro parecer son relevantes y novedosas en el estudio de las mismas y que nos puedan brindar alguna solución, idea o aclarar nuestro panorama.

En la tesis “PRE-DISEÑO DE PRESA DE TIERRA EN EL RÍO PIEDRAS, EN LA PARROQUIA JULIO MORENO, PROVINCIA DE SANTA ELENA.” de la UNIVERSIDAD ESPÍRITU SANTO, (Año 2015, Zamborondón, Ecuador), elaborado por el Bachiller JAIME GUTIÉRREZ GÓMEZ de la UNIVERSIDAD ESPÍRITU SANTO, realizan un estudio similar al de nuestra investigación almacenando el agua ofertada gracias a una cuenca hidrográfica con una presa de tierra, usando igualmente como la mayor parte de estas investigaciones, núcleo de arcilla. No obstante, se concluye en esta tesis que si bien es cierto es más eficiente y segura una presa de concreto, hay ciertos lugares donde es más factible construir una represa de tierra por la disponibilidad del material y por el medio ambiente y geografía, además de la economía, el cual es un factor muy importante a la hora de elaborar un proyecto.

En la tesis “PROPUESTA TÉCNICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MINI PRESA CON FINES DE MITIGAR LA ESCASEZ DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE CACHIPASCANA, DEL DISTRITO DE SAN ANTONIO DE ESQUILACHE, PUNO”, de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, elaborada por la Bachiller ARLETH JOHANA LUQUE GÓMEZ (Año 2016, Puno, Perú), en el presente trabajo se plantea una propuesta para reducir la escasez de agua en la comunidad de Cachipascana, orientado a un contexto similar al de nuestra tesis, el cual es de una comunidad en Puno que carece de agua, pero esta vez será usado en su mayoría para consumo agrícola, es decir irrigaciones. La tesis consiste en desarrollar una presa de concreto, pero de baja magnitud debido a la poca demanda hídrica. No obstante, el control de sedimentos siempre ha sido un problema en todas las presas, sobre todo en los lugares

andinos, los cuales la erosión está muy presente en gran parte por la lluvia e inundaciones. Es por ello, que dicha tesis presenta una serie de medidas en el control de las sedimentaciones, las cuales serán muy útiles para la elaboración de nuestra tesis al ser de una zona andina similar.

En la tesis “ANÁLISIS DEL USO DE GEOSINTÉTICOS COMO COMPONENTES EN LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y REFUERZO DE LA PRESA DE RELAVES ANIMÓN”, elaborada por el ing. CORREA JULCARIMA ISAAC PINTO de la UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION, (Año 2018, Cerro de Pasco, Perú) se propone el uso de geosintéticos como una alternativa viable y concluye cosas muy esperanzadoras en cuanto a seguridad y economía El uso de geomallas uniaxiales como refuerzo del suelo permite mejorar considerablemente la distribución de esfuerzos provocados por el propio peso del dique y fuerzas horizontales, esto se pudo verificar a través de la corrida de estabilidad (Programa SLIDE V6.0) para las dos (02) muestras de análisis y también concluye que la aplicación de geosintéticos de refuerzo permiten disminuir el volumen de relleno, área de terreno muy vital si se trata de colindancia con terrenos comunales o por la necesidad de conservar una vía nacional que cruza por esa zona que colinda con áreas de operación minera y esto se viene dando en la Unidad minera Animon de donde se realizó dicho tema de investigación.

Estas investigaciones recientes nos enseñan la importancia de las geosintéticas en la seguridad de una presa de tierra y nos dan la invitación a considerar la geomembrana y geotextil como la alternativa más viable en la construcción de las mismas. Asimismo, al entender los diferentes tipos de presas, y los materiales a usar que básicamente son tierra y/o concreto, estamos convencidos de que la presa de tierra tipo escollera es la mejor opción debido a las condiciones geográfica y ambientales, ya que existe material cercano que puede ser usado en la misma presa y se evitaría un impacto ambiental elevado el cual

lo tendría si fuese una presa de concreto, además de los altos costos que involucra la construcción de la misma. Con unos buenos estudios y comprobaciones bastaría para demostrar que en este caso la presa de tierra es la opción más viable. En el caso de los sedimentos, tomaremos en cuenta en nuestro diseño las medidas adoptadas para mitigar y controlar los sedimentos y tratar de mantener casi al máximo la capacidad de almacenamiento de la represa.



## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

Para obtener los resultados planteados es necesario seguir una serie de requerimientos y procedimientos de investigación, que permitan determinar de una manera adecuada y sencilla alcanzar el propósito trazado.

La metodología está constituida por una serie de parámetros, reglamentos, criterios, registros, técnicas y protocolos que han de componer el proceso de investigación, así como la confiabilidad de los instrumentos de medición utilizados para recabar información respectiva de la población y ambiente seleccionado para el estudio.

### 3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación se desarrolla bajo la modalidad de proyecto factible que beneficiará a una población en general, apoyado en un análisis y proyecto exhaustivo de campo. En este caso se plantea el represamiento a través de captación pluvial de la cuenca de Queñamayo en el distrito de Santo Tomás en la provincia de Chumbivilcas en el departamento de Cusco, proyecto que beneficiara a una población de, 27403 habitantes que allí residen, considerándolo un proyecto de índole social, como es el abastecimiento de agua, necesario para el desarrollo, crecimiento económico, social y de supervivencia de la población.

#### 3.1.1. Según el propósito.

**3.1.1.1. Investigación descriptiva.** Arias, (2012) Afirma “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”. (P. 24).

Es **Descriptiva**, ya que se describe y explica detalladamente los criterios en cuanto al diseño del sistema de represamiento en la cuenca de Queñamayo en el distrito de Santo Tomás de la provincia de Chumbivilcas en el departamento de Cusco.

**3.1.1.2. Investigación Cuantitativa.** Hernández et al., (2014), establece que la investigación cuantitativa “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías”. (P.37)

Es **Cuantitativa**, ya que permite determinar cantidades totales, cifras, cálculos y aprobación de teorías, correspondientes a los objetos de estudio establecidos durante la investigación.

### **3.1.2. Según el nivel de conocimiento.**

**3.1.2.1. Investigación Documental.** Arias, (2012) Afirma “La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales y electrónicas, como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos”. (P. 27).

Es **Documental**, ya que se obtuvo información utilizando documentos de la municipalidad de Santo Tomás y provincia de Chumbivilcas, consultando Normas técnicas peruanas, guías, textos bibliográficos, documentación de instituciones como el INEI, SENAMHI y material de internet.

**3.1.2.2. Investigación Experimental.** Arias, (2012) Afirma “es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”. (P.34).

Es **Experimental**, ya que permite al investigador demostrar las capacidades para plantear alternativas de solución a un problema, sometiendo sus conocimientos y habilidades para resolver los inconvenientes planteados por las variables independientes

y considerar si es viable o no las opciones implementadas y dadas para la solución del problema.

### 3.1.3. Según la estrategia.

**3.1.3.1. Investigación de campo.** Arias, (2012) afirma “La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes”. (P.31).

Es de **Campo**, ya que la investigación y estudios se realizan directamente en el lugar de los hechos, en este caso en el poblado de Santo Tomás, en la comunidad de Orrcoma y en la cuenca de Queñamayo en la provincia de Chumbivilcas en el departamento de Cusco. Puesto que los estudios e investigaciones de campo constituyen la parte más esencial de esta investigación para los estudios básicos que son los idóneos para lograr el resultado que se requiere.

### 3.1.3.2. Investigación Exploratoria.

Hernández et al., (2014), establece que “Estas investigaciones se deben emplear cuando el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado o novedoso” (P.91).

La presente investigación es de carácter **Exploratorio**, ya que se incursiona en un ámbito que no ha sido estudiado ni tomado en cuenta por otros investigadores, el estudio hidrológico de una cuenca hidrográfica nueva, lo cual significa un argumento de innovación y de emplear objetivos para lograr una solución, en este caso el abastecimiento de agua en el poblado de Santo Tomás, en la comunidad de Orrcoma y en la cuenca de Queñamayo en la provincia de Chumbivilcas en el departamento de Cusco.

### **3.1.3.3. Investigación de Laboratorio.**

Esta investigación se obtuvo mediante pruebas mecánicas, ensayos y muestras de suelo, aguas, en el lugar de los hechos, con el fin de proporcionar a la investigación los resultados óptimos necesarios para el diseño de la obra, con ello concretar la meta trazada que es el represamiento de la cuenca de Queñamayo en el distrito de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas en el departamento de Cusco.

## **3.2. Campo de Verificación**

### **3.2.1. Unidad de estudio.**

Cuencas hidrológicas y abastecimiento de agua.

### **3.2.2. Población.**

El proyecto de abastecimiento de agua y la comunidad de Orccoma para uso agrícola. Cuenca de Queñamayo, en el distrito de Santo Tomás, cuya población es de, 27403 habitantes que serán beneficiados con dicho proyecto. Asimismo, se tomó en cuenta a la población futura en 50 años proyectada.

### **3.2.3. Ubicación.**

#### **3.2.3.1. Ubicación espacial.**

Distrito de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco.

#### **3.2.3.2. Ubicación temporal.**

El diseño del represamiento y estudio hidrológico, se llevó a cabo en todo el año 2022, desde enero del mismo hasta diciembre, tiempo con bastante holgura con el fin de realizar las observaciones respectivas, suministro de información de SENAMHI, INEI, estudios de suelo, modelamientos y diseño en software.

### **3.2.3.3. Ubicación Física.**

Cuenca de Queuñamayo, distrito de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco.

## **3.3. Población y Muestra**

### **3.3.1. Población.**

Hernández et al., (2014) Afirma “Población Como el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones”. (P.174).

La población es todo el universo que integra la cuenca de Queuñamayo en el distrito de Santo Tomás, considerándose como el conjunto finito de elementos que integra el procedimiento de estudio.

### **3.3.2. Muestra.**

Hernández et al., (2014) Afirma “Es un subgrupo de la población o universo”. (P. 171).

En este caso, la muestra fue establecida por no probabilística por conveniencia, por las características y naturaleza de la investigación, ya que representan todos los factores que influyen en el repesamiento de la cuenca de Queuñamayo, donde el abastecimiento de agua será distribuido a la población en general, además de todos los factores que influyen en todo el entorno.

## **3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de Datos**

Arias, (2012) afirma “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.”. (P. 68).

### **3.4.1. Instrumentos para la recolección y registro de datos.**

Para el uso de las técnicas se emplearon los siguientes instrumentos:

- Libreta de notas
- Computadoras y unidades de almacenaje (softwares)
- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Lápiz
- Mapas
- Estación total con prisma

### 3.4.2. Técnicas para la recolección de datos.

Arias, (2012) afirma “La técnica de investigación es el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. (P. 67).

**3.4.2.1. Revisión documental.** Es un proceso que consiste en identificar las fuentes documentales, las cuales están representadas por normativas, leyes, reglamentos y decretos, e información bibliográfica, hemerográfica y/o relacionada con el tema, las cuales pueden dar respuesta a las necesidades planteadas, y a su vez utilizar técnicas como el subrayado, el fichaje, las notas de referencias bibliográficas, los cuadros resumen, las hojas de cálculo, entre otros. Esta técnica de recolección de datos está apoyada en el análisis documental como instrumento.

**3.4.2.2. Observación.** Arias (2012) afirma “La observación es una técnica que consiste en la visualización o captación mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (P.69).

**3.4.2.2.1. Observación directa.** Es la inspección y estudio realizado por el investigador, mediante el empleo de sus propios sentidos, especialmente el de la vista, con o sin ayuda de aparatos técnicos, de las cosas y hechos de interés social, tal como son

o tienen lugar espontáneamente en el tiempo en que acaecen y con arreglo a las exigencias de la investigación científica.

**3.4.2.3. Investigación de Campo.** Las investigaciones de campo representan el aspecto más esencial en la investigación para los estudios básicos que son necesarios para el diseño de la presa con material suelto, la cual será de geomembrana. De estos estudios se obtendrán los criterios, parámetros, propiedades y las características que definirán las condiciones del diseño. Estas investigaciones de campo permiten evaluar preliminarmente las condiciones de terreno, suelo y clima con los cuales se va a diseñar la represa. Para realizar la presente investigación de campo se utilizó lo siguiente:

- Se realizó reconocimiento del lugar para posterior delimitación de la cuenca
- Inspección y reconocimiento del lugar

**Figura 10.** Inspección y reconocimiento del lugar



Nota: En la figura 10, se aprecia la inspección y reconocimiento del lugar para la posterior actividad que consistió en la delimitación de la cuenca.

- Levantamiento Topográfico del vaso de la cuenca.

**Figura 11.** Levantamiento topográfico



Nota: En la figura 11, se aprecia el levantamiento topográfico realizado como parte de las actividades para el desarrollo de esta investigación

- Recolección de información en el INEI en cuanto a la cantidad de población que reside en el distrito de Santo Tomás.
- Recolección y recopilación histórica basándose en las precipitaciones, temperaturas y humedades relativas dentro del área de la cuenca, datos suministrados por el SENAMHI.
- Extracción de muestras de suelos en el vaso y sitio de la cuenca para los estudios de mecánica respectivos.

**Figura 12.** Extracción de muestra en la calicata



Nota: En la figura 12, se aprecia la excavación de la calicata 1, como parte de las actividades pautadas para el estudio de suelo.

**Figura 13.** Extracción de muestras en la calicata



Nota: En la figura 13, se aprecia la excavación de otra de las calicatas como parte de las actividades pautadas para el estudio de suelo.

#### **3.4.2.4. Investigación de laboratorio.**

Se realizarán pruebas de ensayos que permitirán obtener y determinar las propiedades mecánicas y físicas de los suelos del vaso y sitio donde se ubica la presa, los cuales son necesarios para el diseño de la presa.

Para la realización de la investigación de laboratorio se utilizó lo siguiente:

- Disponibilidad del recurso hídrico en la zona.
- Obtención en los resultados de los ensayos en las calicatas.

#### **3.4.3.5. Uso de software y programas de modelamiento.**

Para obtener los resultados que se requieren se usarán el siguiente software y programas de diseño y modelamiento:

- Google Earth Pro para visualizar la zona, coordenadas, mapa, ubicación y delimitación.
- Global Mapper para obtener los puntos y curvas de nivel.
- Civil 3D y AutoCAD para obtener los planos, resultados como áreas, longitudes y volúmenes necesarios.
- Excel, para realizar los cálculos respectivos para obtener los resultados requeridos y dimensionamiento de estructuras hidráulicas.

- Hidroesta como ayuda y corroboración para el cálculo de los datos y análisis de precipitaciones máximas.
- Hcanales para dimensionar el vertedero y demás estructuras hidráulicas.
- Slide para análisis de estabilidad de taludes, sismo y filtraciones.



## Capítulo 4: Resultados

### 4.1. Análisis de los Resultados

Para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación el presente proyecto se ha dividido en etapas, para ello se hace constar que se debe considerar el aspecto topográfico, hidrológico, geotécnico y de diseño de la presa, para obtener resultados previstos en el desarrollo final del proyecto, cada una de estas etapas ha sido tratada de manera particular y detallada como se detalla a continuación:

#### 4.1.1. Información básica de la zona de estudio.

##### 4.1.1.1. Ubicación.

**Figura 14.** Ubicación geográfica del departamento de Cusco, Perú



Nota: En la figura 14, se aprecia la ubicación geográfica del departamento de Cusco, dato obtenido de Google imágenes, (2022)

**Figura 15.** Ubicación de la provincia de Chumbivilcas con sus distritos



Nota: En la figura 15, se aprecia la ubicación de la provincia de Chumbivilcas con sus respectivos distritos, datos tomados de Google imágenes, (2022)

#### 4.1.2. Ubicación y delimitación de la Cuenca.

**4.1.2.1. Ubicación.** La cuenca de Queuñamayo está enmarcada dentro del recinto jurisdiccional de Santo Tomas en la provincia de Chumbivilcas, región del Cusco.

La cuenca se encuentra anclada entre los ríos Queuñamayo y Huancanemayo, los cerros Cajanoa, Chiclla, todos establecidos en la parte suroeste del departamento de Cusco. Ubicada en las siguientes coordenadas, (Ver tabla N° 3)

**Tabla 3.** *Coordenadas UTM de la cuenca Queuñamayo*

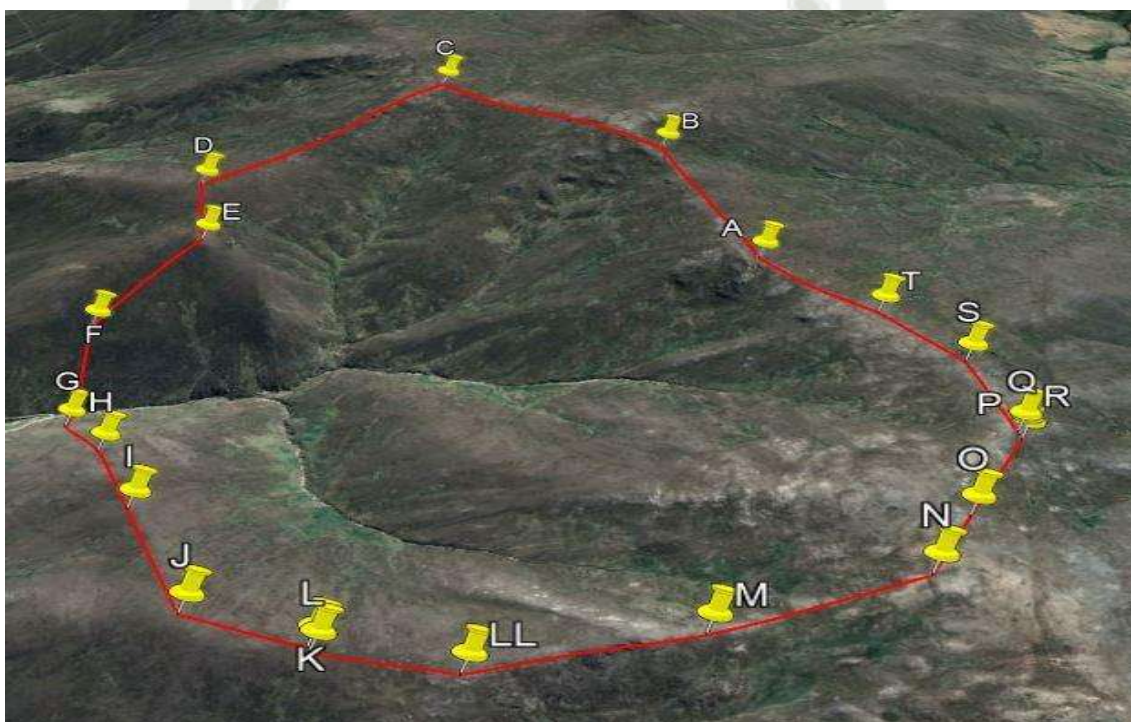
| <b>Cuadro de Coordenadas UTM</b> |             |                  |               |             |              |
|----------------------------------|-------------|------------------|---------------|-------------|--------------|
| <b>Vértice</b>                   | <b>Lado</b> | <b>Distancia</b> | <b>Ángulo</b> | <b>Este</b> | <b>Norte</b> |
| <b>A</b>                         | A-B         | 787.33           | 157°14'56"    | 821197.7341 | 8393366.0574 |
| <b>B</b>                         | B-C         | 853.94           | 214°32'36"    | 821062.7317 | 8394141.7245 |
| <b>C</b>                         | C-D         | 928.78           | 264°23'40"    | 820465.0808 | 8394751.6702 |
| <b>D</b>                         | D-E         | 357.32           | 234°6'51"     | 819741.3601 | 8394169.5550 |
| <b>E</b>                         | E-F         | 443.01           | 137°27'11"    | 819759.5940 | 8393812.7002 |
| <b>F</b>                         | F-G         | 414.55           | 213°55'10"    | 819477.0821 | 8393471.4659 |
| <b>G</b>                         | G-H         | 341.20           | 209°22'53"    | 819435.8931 | 8393058.9683 |
| <b>H</b>                         | H-I         | 336.19           | 173°49'3"     | 819572.9229 | 8392746.4969 |
| <b>I</b>                         | I-J         | 484.88           | 179°45'13"    | 819673.9988 | 8392425.8577 |
| <b>J</b>                         | J-K         | 286.11           | 222°13'55"    | 819817.7862 | 8391962.7906 |
| <b>K</b>                         | K-L         | 16.81            | 133°46'22"    | 820064.2653 | 8391817.4995 |
| <b>L</b>                         | L-LL        | 299.72           | 232°27'38"    | 820068.1190 | 8391801.1396 |
| <b>LL</b>                        | LL-M        | 459.13           | 212°55'7"     | 820341.3150 | 8391677.8758 |
| <b>M</b>                         | M-N         | 452.31           | 183°48'10"    | 820795.2373 | 8391746.8026 |
| <b>N</b>                         | N-O         | 221.66           | 224°22'32"    | 821236.9323 | 8391844.2152 |
| <b>O</b>                         | O-P         | 365.45           | 180°5'23"     | 821358.2659 | 8392029.7223 |
| <b>P</b>                         | P-Q         | 20.61            | 210°9'5"      | 821557.8267 | 8392335.8766 |
| <b>Q</b>                         | Q-R         | 12.38            | 179°59'58"    | 821558.8861 | 8392356.4622 |
| <b>R</b>                         | R-S         | 345.21           | 185°3'27"     | 821559.5224 | 8392368.8246 |
| <b>S</b>                         | S-T         | 327.24           | 200°21'58"    | 821546.8067 | 8392713.8011 |
| <b>T</b>                         | T-A         | 415.41           | 190°8'50"     | 821421.6967 | 8393016.1855 |

Nota: En la tabla 3 se puede observar los valores correspondientes a las coordenadas UTM de la cuenca de Queuñamayo.

#### 4.1.2.2. Delimitación.

Para la delimitación se hizo uso del software Google Earth Pro para ubicar la zona de estudio en 3D y posteriormente establecer y delimitar el polígono con las coordenadas halladas respectivas de la cuenca, exportando esos puntos junto con toda la cuenca al Civil 3D.

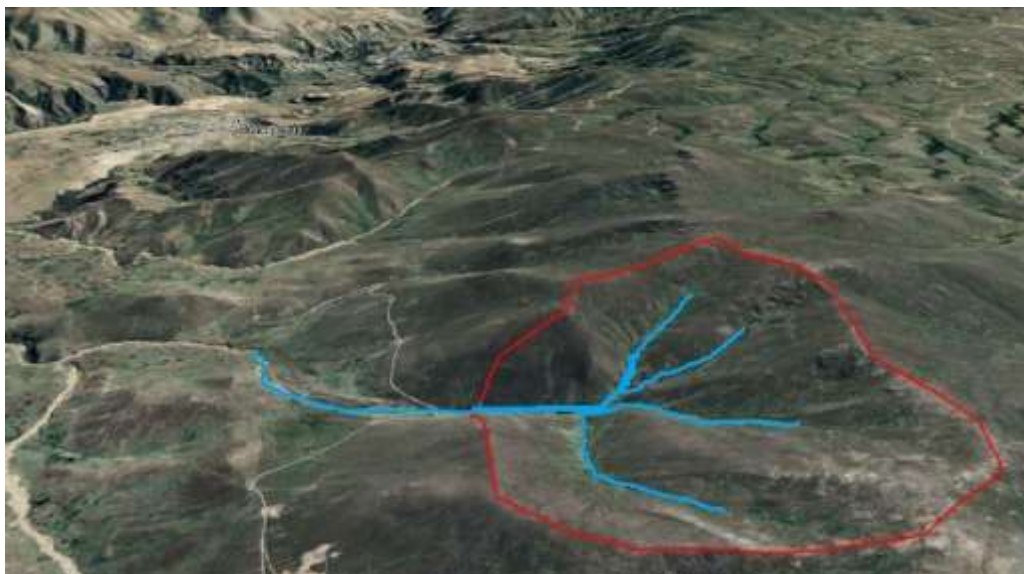
**Figura 16.** Delimitación de la cuenca (polígono)



Nota: En la figura 16, se puede apreciar que de acuerdo a la delimitación la cuenca tiene veintiún (21) lados de diferentes dimensiones, lo que lo hace un polígono irregular y la misma cuenta con un área de 442 ha o 4.42Km<sup>2</sup>. datos arrojados del software Google Earth Pro.

Es por ello que, una vez localizada la cuenca y delimitada se procedió a remarcar los ríos de la cuenca, los cuales tendrán la función de formar un cauce pluvial que desembocará en el río Queñamayo.

**Figura 17.** Delimitación de la cuenca (ríos ubicados de acuerdo a la zona)



Nota: En la figura 17, se observa la delimitación de la cuenca con los ríos ubicados en la cuenca, datos obtenidos del software Google Earth Pro

Una vez dibujados y demarcados los ríos, se ubica el lugar donde estará el dique.

**Figura 18.** Delimitación de la cuenca con la ubicación del dique



Nota: En la figura 18, se observa la delimitación de la cuenca con el río y sus afluentes, y la ubicación del dique, datos obtenidos del software Google Earth Pro.

### 4.1.3. Estudio hidrológico.

**4.1.3.1. Descripción general de la cuenca.** La cuenca es una superficie de tierra, donde se concentran todas las precipitaciones para formar un solo curso de agua.

La cuenca abastece del recurso hídrico a la población de Santo Tomas, en el distrito del mismo nombre, en la provincia de Chumbivilcas, en el departamento de Cusco, esta cuenca será destinada a la captación pluvial, cuyo proyecto hidráulico iniciará desde la irrigación del río Queuñamayo el cual es un río pluvial y principal afluente; ya que abarca casi toda la zona de la cuenca, encontrándose a una altitud de 4200 msnm.

### 4.1.3.2. Características geomorfológicas.

**4.1.3.2.1. Parámetros Físicos.** Con estos parámetros se permitirán definir las características que permitirán conocer las variaciones de los elementos que conforman un estudio hidrológico.

Para la superficie de la cuenca, el área de la misma representa un factor muy importante ya que al ser de captación pluvial, influyen en características de escorrentía. El punto de la cuenca, de la cual se distribuirá el agua, se inicia aproximadamente a 4200 msnm y su recorrido lo culmina a través del método de aducción por gravedad a 3678 msnm. (Altura del poblado de Santo Tomás).

**4.1.3.2.2. Área de la Cuenca.** El área que cubre la Cuenca de Queuñamayo tiene una extensión de **442.09 has.** Y el área de irrigación es de 284.30 ha.

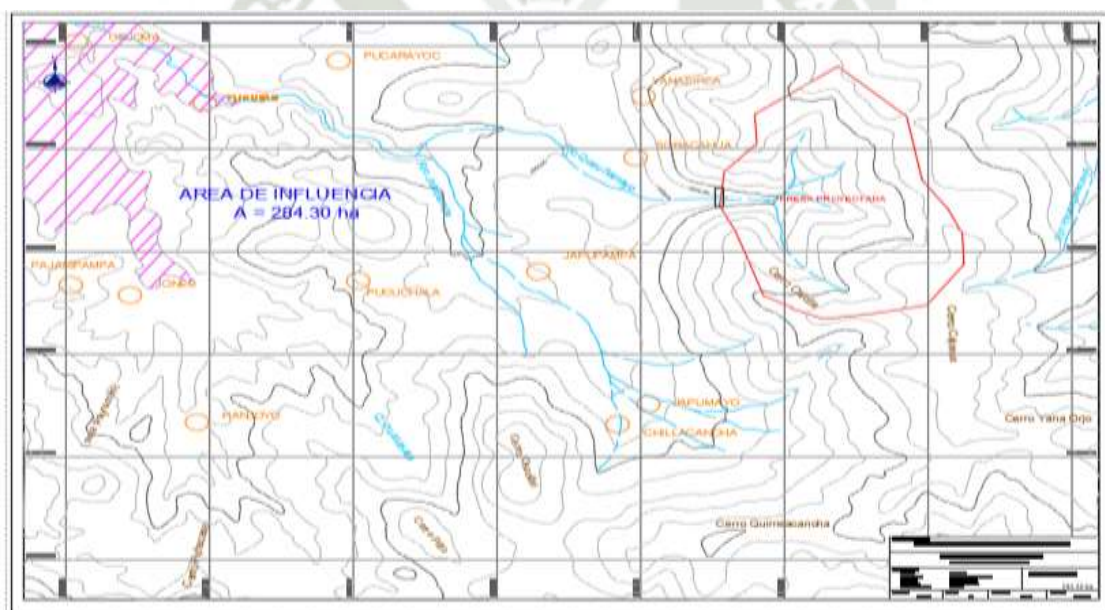
**4.1.3.2.3. Perímetro.** El perímetro se obtuvo a través de la medición de cada una de las paredes de la cuenca, se sumaron todos los bordes y se determinó que el perímetro de escorrentía dio un total de 8169.24 m.

**Figura 19.** Área de la cuenca proyectada



Nota: En la figura 19, se puede apreciar el área de la cuenca proyectada, la cual es 442 has.

**Figura 20.** Área de la influencia de la cuenca



Nota: En la figura 20, se puede apreciar el área de influencia de la cuenca, la cual es 284.30 ha

#### 4.1.3.2.4. Índice de Compacidad o índice de Gravelius (K).

Se establece mediante la relación existente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente con la circunferencia del círculo que es igual a la superficie del área de la cuenca. Si  $K = 1$ , la cuenca será de forma circular. Si  $K > 1$ , es una cuenca

alargada, donde se minimizan las chances, de que sean cubiertas totalmente por una tormenta, es decir que no presente inundaciones.

$$K = 0.28 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (\text{Ec.4.1})$$

$$K = 0.28 \left( \frac{8169.24m}{\sqrt{4420986.05m^2}} \right)$$

$$K = 0.28 \left( \frac{8169.24m}{2102.61m^2} \right)$$

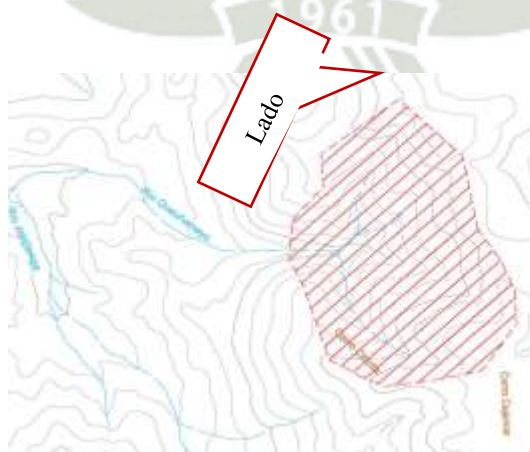
$$K = 0.28 * (3.88)$$

$K = 1.08$ , entonces  $K > 1$ , menos susceptible a inundaciones

#### 4.1.3.2.5. Forma de la cuenca.

Ya que  $K > 1$ , cumpliendo con este parámetro se puede decir que la cuenca es de forma irregular alargada, su forma es de polígono irregular, tiene veintiún (21) lados con diferentes medidas, teniendo su distancia más larga en el lado C-D con una distancia de 978.28m, recorre el cauce, desde su nacimiento en el río pluvial de Queñamayo.

**Figura 21.** Forma de la cuenca



Nota: En la figura 21, se aprecia la forma de la cuenca en donde el lado C-D, es el lado más extenso de la cuenca en estudio.

#### 4.1.3.2.6. Factor de forma.

Expresa la relación o división, entre la longitud y el ancho promedio de la cuenca, es decir:

$$F = \frac{\text{Ancho } (B)}{\text{Longitud } (L)} \quad (\text{Ec.4.2})$$

Haciendo uso del software AutoCAD Civil 3D, se tomaron las medidas en el plano, que se requieren para este parámetro. Las cuales arrojaron que:

$$\text{Ancho } (B) = \frac{A}{L} \quad (\text{Ec.4.3})$$

$$B = \frac{4420986.05 \text{ m}^2}{1895.91 \text{ m}}$$

$$B = 2331.85 \text{ m}$$

- Longitud (L): 1895.91m

$$F = \frac{\text{Ancho } (B)}{\text{Longitud } (L)}$$

$$F = \frac{2331.85 \text{ m}}{1895.91 \text{ m}}$$

$$F = 1.23$$

**4.1.3.2.7. Ámbito General.** El principal y primer afluente de importancia es el río Queñamayo, el cual será el principal afluente donde se represan el agua captada a través de la lluvia, que abastecerá a la población de Santo Tomás, este afluente se encuentra a una altitud aproximada de 4200 msnm.

El ámbito de este estudio comprende la cuenca del río Queuñamayo, la mayoría de este recurso hídrico es proveniente de la captación pluvial, por ser una zona de gran volumen de lluvia es indispensable aplicar los criterios de ingeniería hidráulica en este estudio, además de ser indispensable para abastecer a la población, ante la deficiencia del recurso hídrico en la región.

#### ***4.1.3.2.8. Pendiente de la cuenca o Cauce principal.***

Este es un parámetro muy importante y tiene una relación compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución de las aguas subterráneas a la escorrentía. Este es uno de los factores que controlan el momento de la escorrentía y la concentración de lluvia en el canal de drenaje.

Al ser la pendiente de una cuenca muy irregular, es necesario determinar una pendiente representativa. Para determinar la pendiente existen varios criterios que ayudan a calcular dicho valor, en este caso se optará por el del criterio de Alvord y se promedió con el calculado por el Civil 3D, para una mayor precisión en la pendiente de la cuenca.

##### ***4.1.3.2.8.1. Criterio de Alvord.***

Este criterio está basado en la obtención previa de las pendientes que existen entre cada curva de nivel. Se denomina con la siguiente fórmula:

$$Sc = \frac{DL}{A} \quad (\text{Ec.4.4})$$

Donde:

- Sc = Pendiente de la cuenca
- D = Desnivel Cte. entre curvas de nivel, en Km
- L = Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca, en Km.
- A = Área de la cuenca, en Km<sup>2</sup>.

Los datos se obtuvieron haciendo medición respectiva en el software AutoCAD Civil 3D, que arrojaron lo siguiente:

D= 0.05 Km

L=27.52 Km

A= 4.42 Km<sup>2</sup>

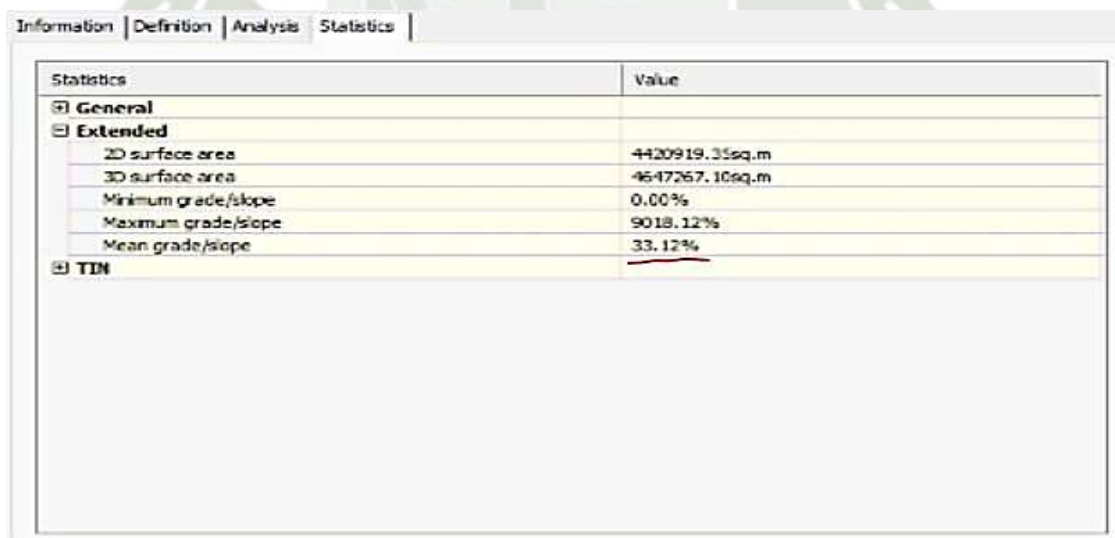
Por lo tanto, la pendiente de la cuenca es:

$$Sc = \frac{(0.05 \text{ Km} * 27.52 \text{ Km})}{4.42 \text{ Km}^2} \quad (\text{Ec. 4.5})$$

**Sc: 0.311**, equivalente al 0.31,1%

En comparación con la pendiente obtenida en el software AutoCAD Civil 3D, la diferencia es de 2%, como se puede apreciar en la siguiente figura:

**Figura 22.** Pendiente de la cuenca en civil 3D



| Statistics          | Value          |
|---------------------|----------------|
| <b>General</b>      |                |
| <b>Extended</b>     |                |
| 2D surface area     | 4420919.35sq.m |
| 3D surface area     | 4647267.10sq.m |
| Minimum grade/slope | 0.00%          |
| Maximum grade/slope | 9018.12%       |
| Mean grade/slope    | <u>33.12%</u>  |
| <b>TIN</b>          |                |

Nota: En la figura 22, se observa el valor de la cuenca en civil 3D, Datos obtenidos del software civil 3D.

Asimismo, realizando un promedio entre ambas pendientes, el resultado obtenido es:

**S= 0.321**, es decir **32.1%**

#### 4.1.3.2.9. Curvas Hipsométricas.

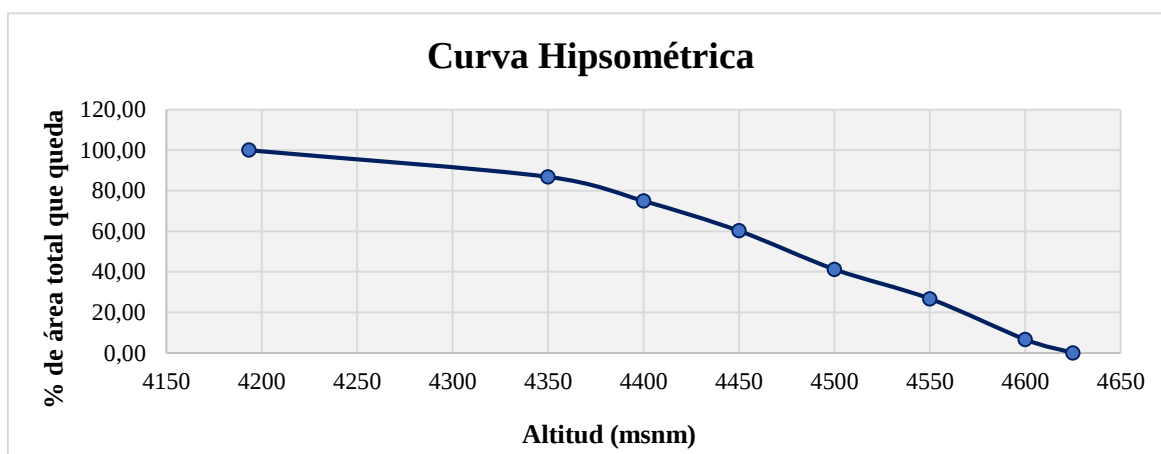
Los datos obtenidos para la curva hipsométrica y para la frecuencia de altitudes se determinaron a través del software AutoCAD Civil 3D y los cálculos correspondientes se realizaron haciendo uso del software Excel. Resultados que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Elevaciones y áreas para curvas hipsométricas

| Altitud   |           |           | Áreas     |       |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-----------|------------|
| Elevación | Elevación | Elevación | Área (m2) | Área  | Acumulado | %Acumulado |
| Mínima    | máxima    | media     |           | (Km2) |           |            |
| 4193.22   | 4350.00   | 4271.61   | 580605.81 | 0.581 | 4.4209    | 100.00     |
| 4350.00   | 4400.00   | 4375.00   | 526579.85 | 0.527 | 3.8943    | 88.09      |
| 4400.00   | 4450.00   | 4425.00   | 651755.44 | 0.652 | 3.2426    | 73.35      |
| 4450.00   | 4500.00   | 4475.00   | 838229.02 | 0.838 | 2.4044    | 54.39      |
| 4500.00   | 4550.00   | 4525.00   | 642676.29 | 0.643 | 1.7617    | 39.85      |
| 4550.00   | 4600.00   | 4575.00   | 171951.27 | 0.172 | 1.5897    | 35.96      |
| 4600.00   | 4625.00   | 4612.50   | 717209.94 | 0.717 | 0.8725    | 19.74      |
| 4625.00   | 4625.00   | 4625.00   | 291911.73 | 0.292 | 0.5806    | 13.13      |
| Total     |           |           |           | 4.42  |           |            |

Nota: En la tabla 4, se aprecia las elevaciones y áreas para curvas hipsométricas, denotando cada elevación (mínima, máxima y media) y las áreas.

**Figura 23.** Curva Hipsométrica



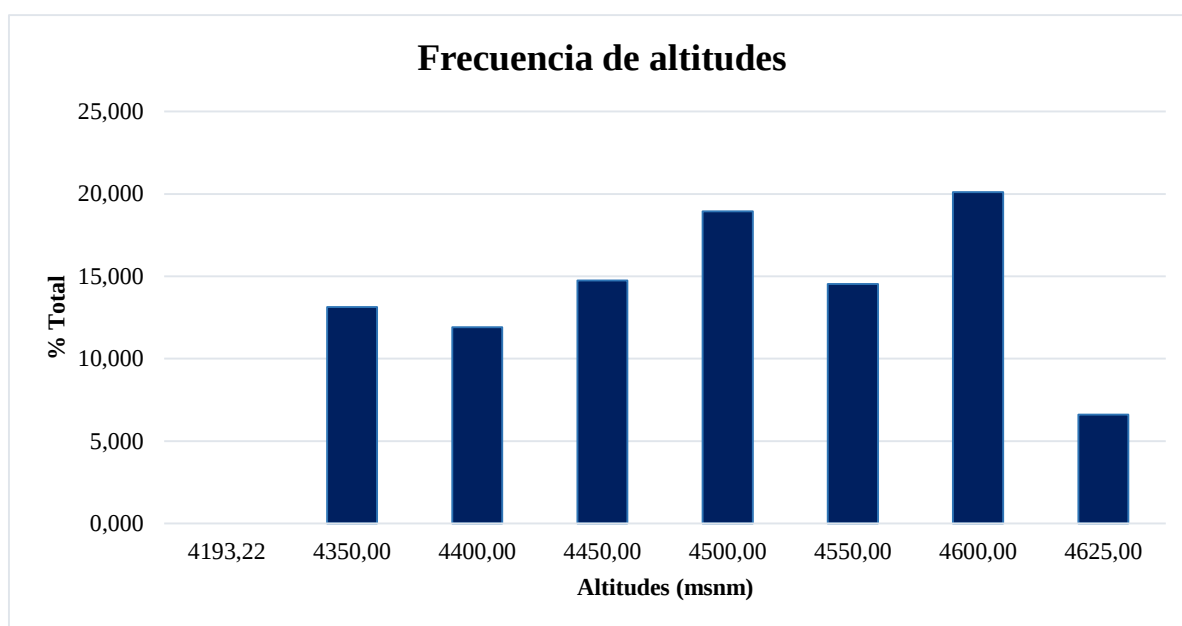
Nota: En la figura 23, se aprecia la curva hipsométrica obtenida.

**Tabla 5.** Áreas y porcentajes acumuladas

| Áreas (Km2)  |             |            |            | %          |                |
|--------------|-------------|------------|------------|------------|----------------|
| Altitud      | Parciales   | Acumuladas | Que quedan | Área total | Área que queda |
| 4193.22      | 0           | 0          | 4.42       | 0.000      | 100.00         |
| 4350.00      | 0.581       | 0.581      | 3.84       | 13.139     | 86.86          |
| 4400.00      | 0.527       | 1.108      | 3.31       | 11.918     | 74.94          |
| 4450.00      | 0.652       | 1.760      | 2.66       | 14.744     | 60.20          |
| 4500.00      | 0.838       | 2.598      | 1.82       | 18.951     | 41.25          |
| 4550.00      | 0.643       | 3.241      | 1.18       | 14.541     | 26.71          |
| 4600.00      | 0.889       | 4.130      | 0.29       | 20.104     | 6.60           |
| 4625.00      | 0.292       | 4.422      | 0.00       | 6.603      | 0.00           |
| <b>Total</b> | <b>4.42</b> |            |            |            |                |

Nota: En la tabla 5 se aprecia el área y porcentajes acumuladas para cada altitud

**Figura 24.** Frecuencia de altitudes



Nota: En la figura 24, se puede apreciar la frecuencia de altitudes obtenidas en las áreas

**Tabla 6.** Cálculo de elevación media

| Cálculo de la elevación media |                  |                     |                 |
|-------------------------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Altitudes                     | Área Parcial (A) | Elevación media (E) | AxE             |
|                               | Km2              | msnm                |                 |
| 4193.22                       | 0                | 0                   | 0               |
| 4350.00                       | 0.581            | 4271.61             | 2481.80541      |
| 4400.00                       | 0.527            | 4375                | 2305.625        |
| 4450.00                       | 0.652            | 4425                | 2885.1          |
| 4500.00                       | 0.838            | 4475                | 3750.05         |
| 4550.00                       | 0.643            | 4525                | 2909.575        |
| 4600.00                       | 0.889            | 4575                | 4067.175        |
| 4625.00                       | 0.292            | 4612.5              | 1346.85         |
| <b>Total</b>                  | <b>4.422</b>     |                     | <b>19746.18</b> |
| <b>Elev. med</b>              | <b>4465.44</b>   |                     |                 |

Nota: En la tabla 6, se puede apreciar el cálculo de elevación media obtenido

#### 4.1.3.2.10. Densidad de drenaje.

Un buen grado indicativo de desarrollo de un sistema de drenaje, está brindado por el índice llamado densidad de drenaje Dd, el cual está expresado entre la división de la longitud total (L) de los cursos de agua (sean efímeras, intermitentes o perennes) y el área total (A).

Por lo tanto, resulta la siguiente expresión:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (\text{Ec.4.6})$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje

L: 5.32 Km

A: 4.42 Km<sup>2</sup>

$$Dd = \frac{5.32 \text{ Km}}{4.42 \text{ Km}^2}$$

$$Dd = 1.204 \frac{\text{Km}}{\text{Km}^2}$$

Al ser 1.204, la cuenca posee una densidad de drenaje moderada.

#### 4.1.3.2.11. Perfil Longitudinal.

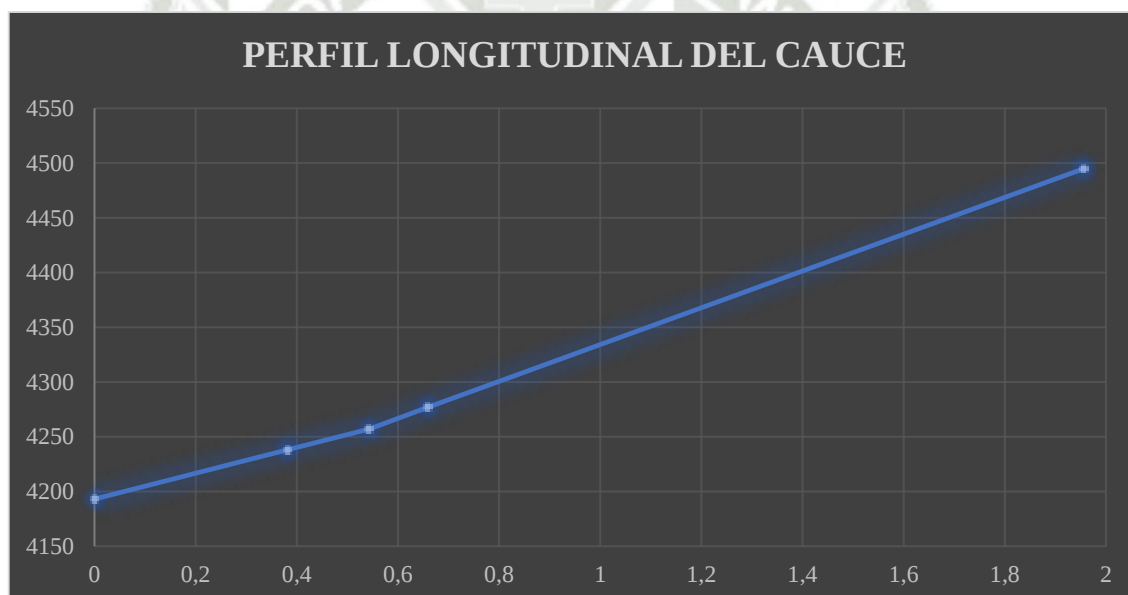
Se obtuvo a través de la longitud del cauce principal y las altitudes presentes en la cuenca por donde transita el cauce principal.

Estos datos se obtuvieron a través de la medición, haciendo uso del software AutoCAD Civil 3D, el cual determinó la longitud total del cauce por tramo y las altitudes correspondientes.

**Tabla 7.** Puntos para perfil longitudinal

| L(KM)  | ALTITUD   | PUNTO | L(KM)  | ALTITUD |
|--------|-----------|-------|--------|---------|
| 0      | 4193      | 1     | 0      | 4193    |
| 0.382  | 4238      | 2     | 0.382  | 4238    |
| 0.162  | 4257      | 3     | 0.544  | 4257    |
| 0.116  | 4277      | 4     | 0.66   | 4277    |
| 1.2963 | 4495      | 5     | 1.9563 | 4495    |
| 1.96   | TOTAL, KM |       |        |         |

Nota: En la tabla 7, se puede apreciar los puntos obtenidos para perfil longitudinal ideales para graficar dicho perfil.

**Figura 25.** Perfil longitudinal del cauce


Nota: En la figura 25, se aprecia el gráfico representativo del perfil longitudinal del cauce principal

#### 4.1.3.2.12. Pendiente del Cauce.

Existen 3 métodos para calcular la pendiente promedio en un cauce. No obstante, en nuestro cauce principal, existen 4 tramos de diferentes longitudes y diferentes pendientes cada uno, por ende, el mejor método para calcular la pendiente en este caso es el **método 3 de Taylor y Schwartz**. Este método emplea la siguiente fórmula, la cual se expresa de la siguiente manera;

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$$

Donde:

$S$  = Pendiente media del cauce.

$L_i$  = Longitud del tramo  $i$

$S_i$  = Pendiente del tramo  $i$ .

(Ec. 4.7)

**Tabla 8.** Puntos de pendiente de cauce

| N | PROGRESIVA | DISTANCIA | COTA | DESNIVEL | S=DESN/DIST | L/S^2      |
|---|------------|-----------|------|----------|-------------|------------|
| 1 | 0          | 0         | 4193 | 0        | 0           | 0          |
| 2 | 382        | 382       | 4238 | 45       | 0.11780105  | 1112.98366 |
| 3 | 544        | 162       | 4257 | 19       | 0.11728395  | 473.037664 |
| 4 | 660        | 116       | 4277 | 20       | 0.17241379  | 279.364994 |
| 5 | 1352       | 1296.3    | 4495 | 218      | 0.16817095  | 3161.04032 |
|   |            | 1956.3    |      |          |             | 5026.42663 |

Nota: En la tabla 8, se aprecia los puntos de la pendiente del cauce

$$S = (1956.3 / 5026.42663) ^2$$

(Ec.4.8)

$S = 0.1515$ , es decir **15.15%**

#### 4.1.3.3. Elementos meteorológicos.

##### 4.1.3.3.1. Precipitación.

Los datos fueron obtenidos con la colaboración del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), para poder visualizar el comportamiento de las temperaturas por mes, en los últimos veinte (21) años y factores climáticos en la región de Santo Tomás.

Para ello, se realizó el estudio respectivo en cuatro estaciones, las cuales fueron Visca Visca, Marca Cunka, Santo Tomás automática y Santo Tomás convencional, cuyas estaciones se encuentran en el distrito de Santo Tomás en la provincia de Chumbivilcas en el departamento de Cusco. Siendo estas las únicas estaciones meteorológicas presentes. La zona es recóndita y alejada, pero aun así existe las estaciones meteorológicas mencionadas previamente.

Los datos obtenidos para la realización de este estudio se observan en las siguientes tablas, (Ver tablas N° 9, 11, 13, 15)

##### **Estación Santo Tomás automática**

De acuerdo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la estación Santo Tomás automática se encuentra ubicada en el departamento de Cusco en la provincia de Chumbivilcas, en el distrito de Santo Tomás a una latitud de **14°26'56.3''S** y a una longitud de **72°5'47.2''W** con una altitud de **3671 msnm**, es una estación correspondiente al rango del tipo automática- meteorológica, está representada por el código 4729A090.

**Figura 26.** Ubicación de estación Santo Tomás automático



En la figura 26, se aprecia la ubicación de la estación Santo Tomás automático, datos recopilados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Cusco.

## Precipitaciones Estación Santo Tomas

**Tabla 9.** *Precipitaciones Estación Santo Tomás automática*

| AÑO  | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 2001 | 209.8  | 252.04  | 267.26 | 44.41 | 16.19 | 0.01  | 6.68  | 0.06   | 5.05       | 40.97   | 36.99     | 96.37     |
| 2002 | 235.86 | 195.3   | 144.33 | 36.31 | 13.98 | 9.1   | 12.26 | 0.53   | 31.69      | 74.89   | 83.45     | 123.28    |
| 2003 | 226.03 | 190.7   | 170.14 | 47.66 | 1.9   | 3.71  | 6.68  | 9.89   | 5.52       | 48.97   | 53.81     | 132.38    |
| 2004 | 229.85 | 173.41  | 146.37 | 35.13 | 1.9   | 0.01  | 31.8  | 17.28  | 6.8        | 65.61   | 120.37    | 270.82    |
| 2005 | 233.59 | 146.42  | 169.79 | 45.78 | 1.9   | 0.01  | 6.68  | 0.53   | 5.39       | S/D     | S/D       | 178.35    |
| 2006 | 185.4  | 218.89  | 162.06 | 71.88 | 1.9   | 4.05  | 6.68  | 4.49   | 5.88       | 70.88   | 98.58     | S/D       |
| 2007 | 228.49 | 79.61   | 169.72 | 47.18 | 11.25 | 0.01  | 7.45  | 0.53   | 3.21       | 37.82   | 68.25     | 218.09    |
| 2008 | 207.33 | 154.19  | 130.21 | 31.82 | 11.83 | 4.93  | 6.68  | 0.53   | 5.52       | 112.53  | 40.86     | 188.3     |
| 2009 | 240.39 | 174.91  | 146.56 | 55.8  | 7.88  | 0.01  | 9.49  | 0.53   | 0          | 30.71   | 121.05    | 124.96    |
| 2010 | 210.29 | 190.13  | 159.7  | 60.43 | 34.06 | 0.01  | 8.18  | 0.53   | 0.97       | 60.1    | 70.36     | 186.09    |
| 2011 | S/D    | 209.71  | 183.92 | 67.43 | 17.04 | 0.72  | 8.7   | 24.85  | 67.54      | 49.67   | 83.54     | 145.02    |
| 2012 | 213.47 | 321.03  | 254.98 | 70.4  | 24.52 | 0.01  | 8.49  | 0.53   | 5.54       | S/D     | 78.56     | S/D       |
| 2013 | 219.34 | 309.69  | 163.91 | S/D   | 10.52 | 15.67 | 9.28  | 15.1   | 4.22       | 51.84   | 70.17     | 249.56    |
| 2014 | 199.63 | 107.15  | 152.45 | 43.41 | 9.23  | 0.01  | 7.82  | 3.66   | 64.83      | 103.91  | 64.28     | 212       |
| 2015 | 200.28 | 191.37  | 180.09 | 54.47 | S/D   | 0.01  | 8.98  | 17.58  | 2.23       | 56.59   | 75.12     | 97.04     |
| 2016 | 243.76 | 283.25  | 141    | S/D   | 9.2   | 5.8   | 9.4   | 7.8    | 7          | S/D     | 29.2      | 95.4      |
| 2017 | 233.6  | 160.4   | 267.4  | 64.8  | 30.4  | 0.4   | 7     | 0.6    | 56.8       | 75.8    | 62.4      | S/D       |
| 2018 | 176.8  | 206.2   | 154.8  | 46.4  | 10.6  | 11.8  | 24    | 35     | 5.8        | 73      | S/D       | 68.2      |
| 2019 | 238.6  | 218.6   | 194.2  | 43.6  | 8.6   | 1.4   | 9     | 3.3    | 2.2        | 20.9    | 181.8     | 224.4     |
| 2020 | 181.9  | 305.1   | 169.98 | 38.16 | 68.58 | 0.01  | 6.68  | 0.53   | 10.57      | 97.2    | 77        | 208.66    |
| 2021 | 184.71 | 161.32  | 171.1  | 42.57 | 9.88  | 0.01  | 7.62  | 0.53   | 23.01      | 81.2    | 113.93    | 206.78    |

Nota: En la tabla 9 se aprecia los valores para precipitaciones en la estación Santo Tomás Automática, datos para realizar la completación

**Tabla 10.** *Precipitaciones máximas estación Santo Tomás automática*

| AÑO  | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 2001 | 21.41 | 28.94   | 28.85 | 15.83 | 6.92  | 0     | 0     | 0.06   | 4.14       | 14.92   | 22.51     | 30.71     |
| 2002 | 24.67 | 31.54   | 28.66 | 8.63  | 6.71  | 5.61  | 8.47  | 0.06   | 5.92       | 15.95   | 19.48     | 30.26     |
| 2003 | 25.07 | 29.45   | 21.2  | 11.86 | 3.08  | 3.93  | 0     | 7.72   | 4.91       | 17.47   | 27        | 25.95     |
| 2004 | 22.44 | 29.49   | 23.79 | 8.26  | 3.08  | 0     | 16.16 | 12.29  | 8.18       | 19.05   | 23.83     | 36.84     |
| 2005 | 38.13 | 20      | 21.08 | 12.48 | 3.08  | 0     | 0     | 0.06   | 0.17       | S/D     | S/D       | 27.08     |
| 2006 | 43.75 | 33.11   | 27.49 | 13.55 | 3.08  | 4.41  | 0     | 3.21   | 0.75       | 21.49   | 27.46     | S/D       |
| 2007 | 18.33 | 28.83   | 22.59 | 11.86 | 4.04  | 0     | 7.06  | 0.06   | 3.27       | 14.35   | 21.19     | 39.98     |
| 2008 | 24.28 | 29.2    | 26.02 | 4.64  | 6.87  | 2.33  | 0     | 0.06   | 0.53       | 19.2    | 8.46      | 33.96     |
| 2009 | 24.38 | 19.7    | 21.95 | 14.91 | 4.08  | 0     | 3.18  | 0.06   | 0          | 11.66   | 27.5      | 27.76     |
| 2010 | 22.55 | 37.42   | 28.85 | 15.98 | 7.73  | 0     | 0     | 0.06   | 3.52       | 16.63   | 22.07     | 27.81     |
| 2011 | S/D   | 28.79   | 23.41 | 15.44 | 5.73  | 0.98  | 5.66  | 8.78   | 5.32       | 15.67   | 25.52     | 27.2      |
| 2012 | 23.07 | 28.85   | 32.22 | 15.87 | 4.4   | 0     | 0     | 0.06   | 5.59       | S/D     | 26.45     | S/D       |
| 2013 | 25.9  | 27.53   | 21.13 | S/D   | 4.04  | 11.13 | 0.48  | 9.46   | 3.52       | 15.89   | 24.8      | 33.39     |
| 2014 | 31.77 | 29.36   | 20.55 | 9.55  | 4.06  | 0     | 0     | 2.53   | 11.55      | 29.01   | 18.88     | 30.13     |
| 2015 | 24.29 | 27.07   | 33.85 | 13.62 | S/D   | 0     | 1.99  | 7.11   | 3.02       | 15.89   | 14.95     | 16.59     |
| 2016 | 18.33 | 29.49   | 22    | S/D   | 4.2   | 4.8   | 8     | 7.6    | 3.8        | S/D     | 15        | 21.8      |
| 2017 | 24.6  | 33      | 47.6  | 14    | 6.2   | 0.2   | 7     | 0.6    | 12.8       | 17.8    | 10.8      | S/D       |
| 2018 | 21.4  | 25.2    | 21    | 11    | 4.4   | 8     | 14    | 18     | 2.2        | 15      | S/D       | 18.4      |
| 2019 | 35    | 24.4    | 27    | 8.6   | 4.4   | 0.8   | 1.4   | 0.2    | 1          | 15      | 33.4      | 43        |
| 2020 | 44.4  | 31.2    | 25.75 | 8.63  | 13.38 | 0     | 0     | 0.06   | 4.91       | 19.8    | 31.4      | 31.84     |
| 2021 | 37.38 | 28.85   | 23.22 | 10.75 | 4.04  | 0     | 0     | 0.06   | 3.61       | 19.13   | 23.08     | 33.84     |
| PROM | 27.33 | 28.64   | 26.11 | 12.34 | 5.28  | 2.01  | 3.50  | 3.72   | 4.22       | 17.07   | 22.53     | 30.41     |

Nota: En la tabla 10 se aprecia los valores obtenidos en promedio de las precipitaciones máximas en la estación Santo Tomás automática.

### Estación Santo Tomás convencional

De acuerdo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la estación Santo Tomás convencional se encuentra ubicada en el departamento de Cusco en la provincia de Chumbivilcas, en el distrito de Santo Tomás a una latitud de  $14^{\circ}23'55.61''\text{S}$  y a una longitud de  $72^{\circ}5'15.86''\text{W}$  con una altitud de **3212 msnm**, es una estación correspondiente al rango del tipo convencional- meteorológica, está representada por el código 114030.

*Figura 27.* Estación Santo Tomás convencional



En la figura 27, se aprecia la ubicación de la estación Santo Tomás convencional.

**Tabla 11.** *Precipitaciones Estación Santo Tomás convencional*

| <b>Año</b>  | <b>Enero</b> | <b>Febrero</b> | <b>Marzo</b> | <b>Abril</b> | <b>Mayo</b> | <b>Junio</b> | <b>Julio</b> | <b>Agosto</b> | <b>Septiembre</b> | <b>Octubre</b> | <b>Noviembre</b> | <b>Diciembre</b> |
|-------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|
| <b>2001</b> | 199.5        | 215.9          | 274          | 46.3         | 11.2        | 0            | 0            | 0             | 7.9               | 29.6           | 1.3              | 72.7             |
| <b>2002</b> | 115.9        | 180.3          | 119.2        | 25.6         | 9.8         | 6            | 14           | 0             | 31.8              | 76             | 71.9             | 103.7            |
| <b>2003</b> | 154          | 175.8          | 173.2        | 54.4         | 0           | 2.4          | 0            | 13.5          | 10.8              | 33.9           | 40.3             | 113.3            |
| <b>2004</b> | 140.7        | 149.6          | 121.3        | 22.4         | 0           | 0            | 34           | 18.4          | 15.6              | 60.2           | 112              | 250              |
| <b>2005</b> | 126          | 121            | 169          | 49.7         | 0           | 0            | 0            | 0             | 9.7               | 54.6           | 69.4             | 159              |
| <b>2006</b> | 251.2        | 197.4          | 140.6        | 108.1        | 0           | 2.6          | 0            | 6.9           | 13.1              | 71.3           | 87.6             | 150.4            |
| <b>2007</b> | 145.6        | 92             | 168.1        | 53.2         | 7.7         | 0            | 8.9          | 0             | 4.9               | 27.9           | 56.3             | 195.7            |
| <b>2008</b> | 205.4        | 126.4          | 100.8        | 13.1         | 8.2         | 3.1          | 0            | 0             | 10.8              | 106.2          | 21.2             | 168.5            |
| <b>2009</b> | 91.2         | 152.4          | 121.5        | 73.5         | 3.7         | 0            | 3            | 0             | 0                 | 22.5           | 112.8            | 105.5            |
| <b>2010</b> | 198.3        | 175.2          | 136.9        | 82.8         | 23.8        | 0            | 0.7          | 0             | 3.3               | 42.2           | 58.5             | 166.4            |
| <b>2011</b> | 190.1        | 191.5          | 205.3        | 95.8         | 11.7        | 0.4          | 4.8          | 29.5          | 56.3              | 34.3           | 72               | 126.2            |
| <b>2012</b> | 190.3        | 278.1          | 246.9        | 102.3        | 16          | 0            | 0.9          | 0             | 11                | 0              | 0                | 174.45           |
| <b>2013</b> | 0            | 263.2          | 144          | 58.2         | 7           | 10.5         | 1.7          | 17            | 6.1               | 35.6           | 58.3             | 223.5            |
| <b>2014</b> | 222.7        | 102.4          | 127.8        | 43.8         | 5.5         | 0            | 0.5          | 3.8           | 55.5              | 103.3          | 52.1             | 190.3            |
| <b>2015</b> | 221.3        | 176.5          | 201          | 70.6         | 10.1        | 0            | 4.3          | 18.6          | 4.1               | 38.9           | 63.4             | 73.53            |
| <b>2016</b> | 63.5         | 234.2          | 141.5        | 62.9         | 7.4         | 3.7          | 5.6          | 12.4          | 6.6               | 55.5           | 33.8             | 75.2             |
| <b>2017</b> | 175.8        | 162.5          | 269.1        | 89.9         | 20.8        | 0            | 10.4         | 0             | 50.5              | 65.5           | 61.7             | 155              |
| <b>2018</b> | 162.2        | 179.5          | 163.2        | 48.7         | 6.9         | 7.7          | 19.5         | 37.3          | 8                 | 42.7           | 51.6             | 40.6             |
| <b>2019</b> | 234.5        | 176.7          | 153.8        | 42.8         | 3.1         | 1.3          | 0            | 1.5           | 15.3              | 29.1           | 177.3            | 197.6            |
| <b>2020</b> | 148.3        | 269.7          | 171.4        | 30.5         | 48.1        | S/D          | S/D          | S/D           | 20                | 93.3           | 32.4             | 187.3            |
| <b>2021</b> | 252.5        | 132.7          | 180.9        | 41.7         | 6.3         | 0            | 0.4          | 0             | 27.5              | 82.5           | 104.5            | 185.6            |

Nota: En la tabla 11, se aprecia las precipitaciones en la estación de Santo Tomás convencional, datos recopilados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Cusco.

**Tabla 12.** *Precipitaciones máximas Estación Santo Tomás convencional*

| AÑO/MES | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL  | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|---------|--------|---------|--------|--------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 2001    | 19.5   | 29.2    | 28.7   | 29.8   | 8.9  | 0     | 0     | 0      | 7.9        | 13.5    | 1.3       | 27        |
| 2002    | 21.8   | 32.3    | 35.6   | 7.8    | 7.4  | 3.8   | 10.2  | 0      | 10.2       | 15.7    | 13.8      | 26        |
| 2003    | 21.4   | 25.5    | 24.6   | 12.8   | 0    | 2.4   | 0     | 9.4    | 8.4        | 18.1    | 23.3      | 17.8      |
| 2004    | 25     | 25.2    | 26.2   | 7.5    | 0    | 0     | 19    | 18.4   | 15.6       | 21.4    | 37.6      | 37.8      |
| 2005    | 33.8   | 16.2    | 24.5   | 14.5   | 0    | 0     | 0     | 0      | 4.9        | 12.6    | 14.4      | 19.7      |
| 2006    | 42.5   | 34.6    | 36.3   | 17.6   | 0    | 2.6   | 0     | 3.9    | 5.9        | 30.3    | 20.7      | 36.1      |
| 2007    | 19.1   | 28.8    | 20.5   | 12.8   | 3.2  | 0     | 8.3   | 0      | 2.9        | 10.8    | 14.7      | 41.5      |
| 2008    | 22.1   | 26.4    | 17.8   | 5.5    | 8.2  | 1.8   | 0     | 0      | 4.3        | 22.1    | 5.2       | 33.6      |
| 2009    | 20.2   | 19.8    | 20.9   | 22.6   | 2.6  | 0     | 3     | 0      | 0          | 7.4     | 21.5      | 20.9      |
| 2010    | 23.5   | 45      | 28.7   | 32     | 10.5 | 0     | 0.7   | 0      | 2.8        | 16.8    | 29.5      | 21        |
| 2011    | 23.3   | 28.5    | 26     | 26     | 5.8  | 0.4   | 4.8   | 11.7   | 11.1       | 15.2    | 25.5      | 19.9      |
| 2012    | 23     | 28.9    | 32.2   | 30.2   | 0.8  | 0     | 0.9   | 0      | 9          | 18.3    | 18.6      | 26.2      |
| 2013    | 27     | 37.7    | 21.5   | 34     | 2.9  | 7.2   | 1.7   | 13.2   | 2.8        | 15.6    | 17        | 32.6      |
| 2014    | 29.1   | 25.9    | 22.1   | 8.7    | 2.7  | 0     | 0.4   | 3.3    | 19.6       | 51.5    | 13.5      | 25.7      |
| 2015    | 26.3   | 22.3    | 42.9   | 17.8   | 10.1 | 0     | 2.4   | 8.3    | 3          | 15.6    | 11.6      | 0         |
| 2016    | 19.1   | 25.2    | 35.2   | 27     | 4.3  | 3     | 5.6   | 9.4    | 3.2        | 7.9     | 12.9      | 8.3       |
| 2017    | 23.9   | 24.8    | 51.9   | 36.8   | 5.8  | 0     | 10    | 0      | 16.2       | 15.8    | 11.8      | 33.6      |
| 2018    | 28.2   | 22.7    | 16.8   | 13.6   | 3.2  | 4.9   | 13    | 25.9   | 5.7        | 11.3    | 15.4      | 8.7       |
| 2019    | 44.3   | 22.1    | 23.3   | 7.5    | 2    | 1.3   | 5.5   | 1.2    | 12.1       | 11.1    | 44.8      | 50.3      |
| 2020    | 34.3   | 36.1    | 18.5   | 7.8    | 21.4 | S/D   | S/D   | S/D    | 11.5       | 27.2    | 21        | 29.5      |
| 2021    | 38.6   | 27.6    | 25.9   | 10.4   | 3.1  | 0     | 0.4   | 0      | 7.6        | 25.5    | 15.8      | 33.4      |
| PROM    | 26.952 | 27.848  | 27.624 | 18.224 | 4.9  | 1.305 | 4.090 | 4.986  | 7.843      | 18.271  | 18.567    | 26.171    |

Nota: En la tabla 12, se aprecia las precipitaciones máximas en la estación de Santo Tomás convencional, datos recopilados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Cusco.

### Estación Marca Cunka

De acuerdo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la estación Marca Cunka se encuentra ubicada en el departamento de Cusco en la provincia de Chumbivilcas, en el distrito de Santo Tomás, se localiza a una latitud de  $17^{\circ}29'54''$  S, y a una longitud de  $72^{\circ}5'22.3''$  W, la estación Marca Cunka está a una altitud de **3796 msnm**, es una estación correspondiente al rango del tipo automática-meteorológica, está representada por el código 114123.

**Figura 28.** Estación Marca Cunka



En la figura 28, se aprecia la ubicación de la estación Marca Cunka, datos recopilados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Cusco.

**Tabla 13.** *Precipitaciones Estación Marca Cunka*

| AÑO  | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 2001 | 203    | 223.02  | 311.98 | 49.82 | S/D   | 0     | 1.39  | 0.27   | 5.08       | 41.09   | 45.78     | 80.13     |
| 2002 | 195.81 | 199.09  | 133.02 | 42.52 | 12.35 | 17.81 | 11.7  | 0.27   | 50.18      | 78.42   | 57.94     | 103.35    |
| 2003 | 203.51 | S/D     | S/D    | 53.67 | 9.2   | 8.66  | 1.39  | 10.88  | 11.36      | 47.19   | 40.38     | 110.15    |
| 2004 | 201.28 | 172.93  | 135.57 | 39.73 | 9.2   | 0     | 32.98 | 14.03  | 19.3       | 69.92   | 85.4      | 145.73    |
| 2005 | S/D    | 151.01  | 185.9  | 51.29 | 9.2   | 0     | 1.39  | 0.27   | 9.12       | 68.14   | S/D       | 141.81    |
| 2006 | 208.41 | 212.34  | 158    | 93.14 | 9.2   | 9.5   | 1.39  | 4.97   | 15.48      | 74.98   | 69.32     | 135.76    |
| 2007 | 202.1  | 142.49  | 185.07 | 53.02 | 10.77 | 0     | 8.35  | 0.27   | 0          | 39.43   | 47.81     | 166.26    |
| 2008 | 200.41 | 154.71  | 111.91 | 19.37 | 11.11 | 11.25 | 1.39  | 0.27   | 11.36      | 112.56  | 37.89     | 148.53    |
| 2009 | 182.03 | 175.28  | 135.81 | 66.82 | 9.01  | 0     | 5.68  | 0.27   | 0          | 40.96   | 85.84     | 104.64    |
| 2010 | 203.45 | S/D     | 153.92 | 75.44 | 28.73 | 0     | 2.73  | 0.27   | 0          | 59.31   | 49.11     | 147.05    |
| 2011 | 205.64 | 208.04  | 222.96 | 89.22 | 14.1  | 0     | 6.89  | 21.53  | 86.72      | 47.83   | 58.01     | 119.08    |
| 2012 | 205.6  | 275.16  | 283.73 | 93.97 | 18.86 | 0     | 3.08  | 0.27   | 11.75      | 68.37   | 54.5      | 133.39    |
| 2013 | 206.32 | 243.53  | 161.65 | 55.86 | 10.34 | 36.13 | 4.26  | 13.29  | 0.66       | 49.89   | 48.99     | 172.73    |
| 2014 | 190.6  | 142.17  | 143.39 | 48.88 | 9.58  | 0     | 2.37  | 2.65   | 80.06      | 105.32  | 45.5      | 163.16    |
| 2015 | 191.35 | S/D     | 217.85 | 64.46 | 12.61 | 0     | 6.62  | 14.13  | 0          | 54.93   | 52.17     | 80.76     |
| 2016 | 160.86 | 228.98  | 151.79 | S/D   | 10.58 | 12.76 | 7.25  | 9.96   | 1.91       | 68.46   | 38.62     | 82.03     |
| 2017 | 222.4  | 183.9   | 309.85 | 82.5  | 28.3  | 0     | 7.3   | 0.9    | 65.3       | 86.7    | 58.7      | 137.3     |
| 2018 | 171.6  | 214.1   | 159.6  | 39.7  | 10.2  | 24.5  | 20.4  | 28     | 6.4        | 58.2    | 54.9      | 55.2      |
| 2019 | 186.7  | S/D     | 185.8  | S/D   | 12.9  | 0.7   | 6.7   | 0.3    | 4.2        | 39.5    | 70.6      | 134.6     |
| 2020 | 205.7  | 253     | 166.2  | 42.7  | 33.5  | 1.6   | 0     | 0      | 23.5       | 93.9    | 21.1      | 214       |
| 2021 | 227.7  | 153     | 252.7  | 46.8  | 5.7   | 1     | 0.3   | 1.1    | 54         | 81.3    | 100.7     | S/D       |

Nota: En la tabla 13, se aprecia las precipitaciones en la estación de Marca Cunka.

**Tabla 14.** *Precipitaciones máximas estación de Marca Cunka*

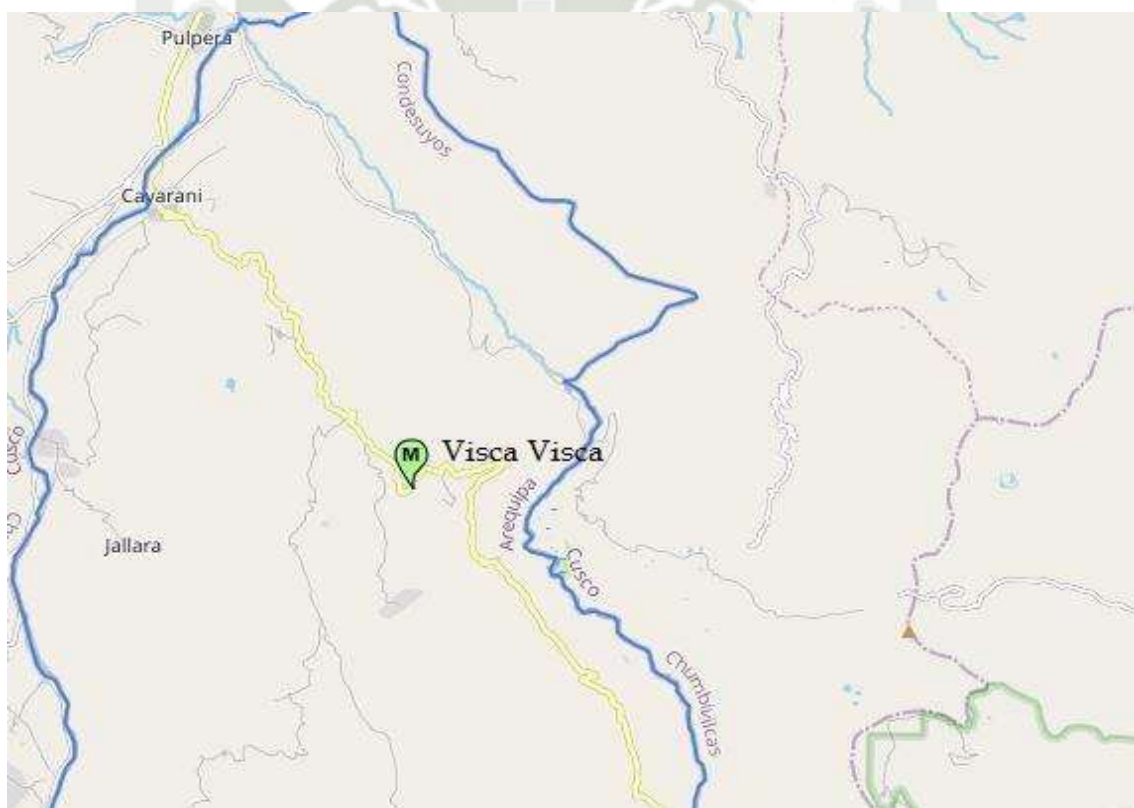
| AÑO         | ENERO  | FEBRERO  | MARZO   | ABRIL | MAYO    | JUNIO   | JULIO  | AGOSTO  | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE  | DICIEMBRE |
|-------------|--------|----------|---------|-------|---------|---------|--------|---------|------------|---------|------------|-----------|
| 2001        | 16.73  | 27.12    | 29      | 12.13 | S/D     | 1.08    | 0.17   | 0.24    | 16.14      | 0       | 8.5        | 23.87     |
| 2002        | 18.7   | 27.68    | 32.39   | 11.92 | 8.76    | 15.37   | 6.79   | 0.24    | 14.13      | 14.16   | 11.43      | 23.3      |
| 2003        | 18.3   | S/D      | S/D     | 12.18 | 4.38    | 6.59    | 0.17   | 4.35    | 16.02      | 18.94   | 14.5       | 17.6      |
| 2004        | 23.58  | 24.51    | 25.62   | 11.66 | 4.38    | 1.08    | 14.53  | 8.67    | 8.11       | 24.16   | 26.13      | 28.86     |
| 2005        | S/D    | 16.45    | 23.35   | 10.85 | 4.38    | 1.08    | 0.17   | 0.24    | 12.76      | 27.43   | S/D        | 19.17     |
| 2006        | 41.05  | 27.53    | 32.34   | 11.92 | 4.38    | 8.47    | 0.17   | 1.83    | 14.56      | 12.63   | 14.24      | 28.33     |
| 2007        | 16.38  | 26.96    | 20.4    | 13.16 | 5.4     | 1.08    | 4.97   | 0.24    | 9.47       | 9.52    | 11.96      | 29.38     |
| 2008        | 19.03  | 25.52    | 20.28   | 9.65  | 9.54    | 2.24    | 0.17   | 0.24    | 11.57      | 10.81   | 7.98       | 27.3      |
| 2009        | 17.29  | 18.86    | 20.5    | 9.78  | 5.08    | 1.08    | 2.07   | 0.24    | 21.04      | 27.22   | 14.35      | 20.06     |
| 2010        | 20.91  | S/D      | 29      | 9.51  | 11.87   | 1.08    | 0      | 0.24    | 9.41       | 11.58   | 15.79      | 20.13     |
| 2011        | 20.61  | 26.82    | 25.34   | 9.79  | 7.29    | 3       | 3.66   | 5.64    | 12.66      | 21.47   | 14.64      | 19.32     |
| 2012        | 20.17  | 27       | 31.97   | 9.54  | 4.46    | 1.08    | 0      | 0.24    | 15.61      | 17.78   | 13.75      | 23.42     |
| 2013        | 27.81  | 27.38    | 20.73   | 12.04 | 5.23    | 18.63   | 0.49   | 6.47    | 9.41       | 24.53   | 13.14      | 26.83     |
| 2014        | 32.22  | 25.12    | 21.05   | 10.79 | 5.13    | 1.08    | 0      | 1.61    | 8.4        | 18.71   | 11.25      | 23.13     |
| 2015        | 26.29  | S/D      | 38.06   | 9.57  | 11.46   | 1.08    | 1.34   | 3.77    | 9.55       | 37.41   | 10.1       | 13.35     |
| 2016        | 16.38  | 24.51    | 30.24   | S/D   | 6.11    | 12.17   | 4.02   | 4.35    | 9.75       | 18.71   | 10.88      | 7.69      |
| 2017        | 21.1   | 24.14    | 48.37   | 8.9   | 5.8     | 0       | 6.8    | 0.4     | 10.5       | 34.4    | 10.1       | 34.5      |
| 2018        | 30.6   | 30.6     | 19.2    | 10.3  | 5.6     | 11.3    | 11.5   | 11.6    | 2.9        | 10.4    | 14.9       | 8.6       |
| 2019        | 50.1   | S/D      | 37.4    | S/D   | 9.6     | 0.5     | 2.5    | 0.2     | 1.5        | 10.7    | 23.5       | 27.7      |
| 2020        | 38     | 27.2     | 22.6    | 14.2  | 17      | 1.4     | 0      | 0       | 8.2        | 17.7    | 8.6        | 31.5      |
| 2021        | 29.5   | 26.4     | 34.3    | 11.5  | 3.2     | 0.9     | 0.3    | 1.1     | 31.2       | 22.3    | 15.7       | S/D       |
| <b>PROM</b> | 25.811 | 25.44095 | 27.8861 | 10.97 | 7.10952 | 4.29952 | 2.8485 | 2.47190 | 12.042381  | 18.5980 | 13.4871429 | 22.706    |

Nota: En la tabla 14, se aprecia las precipitaciones máximas en la estación de marca Cunka.

### Estación Visca Visca

De acuerdo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la estación Visca Visca se encuentra ubicada en el departamento de Arequipa en la provincia de Condesuyos, en el distrito de Cayarani, se localiza a una latitud de  $14^{\circ}7.43'22.08''$  S, y a una longitud de  $71^{\circ}58'43.32''$  W, la estación Marca Cunka está a una altitud de **4247 msnm**, es una estación correspondiente al rango del tipo automática- meteorológica, está representada por el código 114119.

**Figura 29.** Estación Visca Visca



En la figura 29, se aprecia la ubicación de la estación Visca Visca, datos recopilados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Arequipa.

**Tabla 15.** *Precipitaciones Estación Visca Visca*

| AÑO  | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 2001 | 239.67 | 245.23  | 385.85 | 71.84 | 16.89 | 2.96  | 6.89  | 0.32   | 4.22       | 54.28   | 0         | 101.9     |
| 2002 | 226.43 | S/D     | 127.37 | 64.61 | 15.03 | 0.72  | 4.24  | 0.32   | 39.34      | 67.57   | 61.7      | 133.96    |
| 2003 | 232.47 | 214.66  | 217.54 | 74.67 | 2.02  | 2.07  | 6.89  | 2.74   | 8.49       | 55.51   | 32.29     | 143.88    |
| 2004 | 230.36 | 194.68  | 130.88 | 63.49 | 2.02  | 2.96  | 0.46  | 3.62   | 15.54      | 63.04   | 99.03     | 285.22    |
| 2005 | 228.03 | 172.88  | S/D    | 73.03 | 2.02  | 2.96  | 6.89  | 0.32   | 6.87       | S/D     | 59.38     | 191.13    |
| 2006 | 247.86 | 231.13  | 163.11 | 93.43 | 2.02  | 1.99  | 6.89  | 1.56   | 11.87      | 66.22   | 76.32     | 182.24    |
| 2007 | 231.14 | 150.77  | S/D    | 74.25 | 12.24 | 2.96  | 5.21  | 0.32   | 0          | 53.79   | 47.18     | 229.08    |
| 2008 | 240.61 | 176.99  | 96.65  | 60.24 | 12.91 | 1.8   | 6.89  | 0.32   | 8.49       | 76.22   | 14.51     | 200.96    |
| 2009 | 222.52 | 196.82  | 131.21 | 81.34 | 6.94  | 2.96  | 6.33  | 0.32   | 0          | 52.25   | 99.78     | 135.82    |
| 2010 | 239.48 | 214.2   | 156.93 | 84.59 | 33.61 | 2.96  | 6.76  | 0.32   | 0          | 57.89   | 49.23     | 198.78    |
| 2011 | 238.19 | 226.63  | 271.14 | 89.13 | 17.55 | 2.81  | S/D   | 5.62   | 75.34      | 55.63   | 61.8      | 157.22    |
| 2012 | 238.22 | 292.65  | 340.6  | 91.41 | 23.26 | 2.96  | 6.72  | 0.32   | 8.78       | S/D     | S/D       | S/D       |
| 2013 | S/D    | 281.29  | 168.78 | S/D   | 11.32 | 0     | 6.57  | 3.37   | 1.58       | 56      | 49.05     | 257.82    |
| 2014 | 243.35 | 158.7   | 141.73 | 70.97 | 9.32  | 2.96  | 6.8   | 1      | 74.16      | 75.39   | 43.27     | 223.5     |
| 2015 | 243.13 | 215.19  | 263.96 | 80.33 | 15.43 | 2.96  | 6.08  | 3.66   | 0          | 56.94   | 53.79     | 102.76    |
| 2016 | 218.13 | 259.18  | 164.61 | 77.64 | 11.85 | 1.58  | S/D   | 2.55   | 2.31       | S/D     | 26.24     | 104.49    |
| 2017 | 244.54 | 202.06  | 385.02 | 92.63 | 33.56 | 0.15  | 10.63 | 0.56   | 68.51      | 84.89   | 69.62     | 179.81    |
| 2018 | 216.07 | 232.63  | 201.87 | 57.1  | 0     | 0.3   | 0.3   | 7      | 9.8        | 62.6    | 17.4      | 69.34     |
| 2019 | 265.23 | 235.3   | 219.1  | 57.4  | 25.6  | 1.2   | 17.8  | 1      | 12.2       | 41      | 156.8     | 217.4     |
| 2020 | 237.1  | 275.2   | 184    | 79.2  | 23.4  | 0.6   | 0     | 0      | 17.8       | 56.4    | 30.2      | 240.6     |
| 2021 | 231.6  | 160.2   | 218.6  | 80.6  | 16.8  | 9.2   | 0     | 0      | 33         | 73.8    | 97.8      | 182.85    |

Nota: En la tabla 15, se aprecia las precipitaciones en la estación de Visca Visca, Arequipa..

**Tabla 16.** *Precipitaciones máximas estación Visca Visca*

| AÑO         | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|-------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 2001        | 30.48 | 24.64   | 27.29 | 6.63  | 4.02  | 1.72  | 0     | 0.32   | 14.54      | 12.15   | 5.41      | 36.21     |
| 2002        | 29.44 | S/D     | 29.49 | 9.41  | 7.95  | 2.22  | 8.17  | 0.32   | 13.83      | 13.44   | 12.82     | 36.61     |
| 2003        | 29.72 | 28.74   | 22.39 | 8.83  | 4.8   | 2.77  | 0     | 0.56   | 15.55      | 14.35   | 17.01     | 37.9      |
| 2004        | 29.14 | 29.07   | 24.63 | 8.96  | 4.8   | 1.72  | 7.11  | 1.34   | 12.98      | 14.22   | 31.36     | 32.38     |
| 2005        | 35.46 | 33.42   | S/D   | 7.78  | 4.8   | 1.72  | 0     | 0.32   | 3.76       | S/D     | 13.6      | 37.58     |
| 2006        | 32.44 | 28.67   | 29.56 | 6.77  | 4.8   | 3.15  | 0     | 0.58   | 6.91       | 6.32    | 18.03     | 32.03     |
| 2007        | 30.26 | 24.92   | S/D   | 8.83  | 4.53  | 1.72  | 7.17  | 0.32   | 6.19       | 10.61   | 13.98     | 35.75     |
| 2008        | 29.25 | 27.63   | 16.55 | 2.61  | 5.99  | 1.61  | 0     | 0.32   | 3.07       | 13.96   | 6.61      | 32.6      |
| 2009        | 30.44 | 27.53   | 17.18 | 6.86  | 6.73  | 1.72  | 0.67  | 0.32   | 9.6        | 10.53   | 17.88     | 37.48     |
| 2010        | 28.73 | 42.79   | 27.29 | 8.18  | 7.87  | 1.72  | 2.73  | 0.32   | 6.65       | 13.95   | 13.45     | 37.48     |
| 2011        | 28.75 | 25.18   | 24.37 | 6.68  | 7.36  | 3.54  | S/D   | 0.44   | 10.33      | 13.17   | 15.36     | 37.56     |
| 2012        | 28.83 | 24.84   | 29.07 | 6.77  | 13.67 | 1.72  | 3.16  | 0.32   | 15.92      | S/D     | S/D       | S/D       |
| 2013        | S/D   | 33.47   | 17.88 | S/D   | 5.47  | 1.78  | 3.09  | 0.2    | 6.65       | 13.39   | 16.5      | 33.08     |
| 2014        | 33.69 | 28.26   | 18.67 | 10.22 | 6.28  | 1.72  | 1.58  | 0.71   | 17.75      | 11.28   | 12.42     | 36.71     |
| 2015        | 30.26 | 30.14   | 33.23 | 6.74  | 4.83  | 1.72  | 1.84  | 0.5    | 5.76       | 13.39   | 9.98      | 38.64     |
| 2016        | 30.26 | 29.07   | 29.46 | 6.56  | 4.01  | 3.53  | S/D   | 0.56   | 4.97       | S/D     | 11.63     | 48.73     |
| 2017        | 25.66 | 32.63   | 41.23 | 26.11 | 7.67  | 0.08  | 8.74  | 0.4    | 17.17      | 19.14   | 12.82     | 39.1      |
| 2018        | 34.56 | 29.99   | 24.78 | 14.72 | 0     | 0.2   | 0.2   | 1.2    | 3.8        | 10.6    | 7.7       | 13.9      |
| 2019        | 33.02 | 25.42   | 41.1  | 18.9  | 11.9  | 0.8   | 5.4   | 1      | 4.8        | 10.2    | 30.2      | 48.4      |
| 2020        | 39.6  | 30.6    | 20.4  | 15.2  | 5.6   | 0.4   | 0     | 0      | 8.6        | 11.8    | 11.2      | 34.8      |
| 2021        | 24.6  | 20.8    | 30    | 12    | 5.6   | 5.8   | 2     | 0      | 21.6       | 10.2    | 23.4      | 32.69     |
| <b>PROM</b> | 30.75 | 28.72   | 25.89 | 10.04 | 6.13  | 1.97  | 2.51  | 0.48   | 10.02      | 12.33   | 15.19     | 36.01     |

Nota: En la tabla 16, se aprecia las precipitaciones en la estación Visca Visca, Arequipa.

Una vez obtenidos los datos recopilados de las 4 estaciones del Senamhi, se obtiene las precipitaciones mensuales promedio y las precipitaciones máximas de 21 años con algunos datos inconclusos. Estos datos serán analizados y posteriormente completados para quitar los datos dudosos y para eliminar los datos fuera de serie.

#### 4.1.3.3.2. Análisis de información hidrológica.

##### Análisis de salto

Se procede a graficar las curvas de doble masa para determinar visualmente donde existe los saltos con los datos ya obtenidos. Para ello, se usará los datos promedio obtenidos en todas las estaciones.

**Tabla 17.** Datos obtenidos en los promedios de las estaciones Santo Tomás automático y convencional

| Santo Tomas Convencional |           | Santo Tomás Automática |           |
|--------------------------|-----------|------------------------|-----------|
| P ANUAL                  | P ANUAL   | P                      | P ANUAL   |
|                          | ACUMULADA | ANUAL                  | ACUMULADA |
| 858.4                    | 858.4     | 975.83                 | 975.8     |
| 754.2                    | 1612.6    | 960.98                 | 1936.8    |
| 771.6                    | 2384.2    | 897.39                 | 2834.2    |
| 924.2                    | 3308.4    | 1099.35                | 3933.6    |
| 758.4                    | 4066.8    | 934.27                 | 4867.8    |
| 1029.2                   | 5096      | 1000.16                | 5868      |
| 760.3                    | 5856.3    | 871.61                 | 6739.6    |
| 763.7                    | 6620      | 894.73                 | 7634.3    |
| 686.1                    | 7306.1    | 912.29                 | 8546.6    |
| 888.1                    | 8194.2    | 980.85                 | 9527.5    |
| 1017.9                   | 9212.1    | 1071.69                | 10599.2   |
| 1114.7                   | 10326.8   | 1208.42                | 11807.6   |
| 999.6                    | 11326.3   | 1168.5                 | 12976.1   |
| 907.7                    | 12234     | 968.38                 | 13944.5   |

|        |         |         |         |
|--------|---------|---------|---------|
| 882.3  | 13116.4 | 898.19  | 14842.6 |
| 702.3  | 13818.7 | 945.81  | 15788.5 |
| 1061.2 | 14879.9 | 1126.2  | 16914.7 |
| 767.9  | 15647.8 | 895     | 17809.7 |
| 1033   | 16680.8 | 1146.6  | 18956.3 |
| 1001   | 17681.8 | 1164.37 | 20120.6 |
| 1014.6 | 18696.4 | 1002.66 | 21123.3 |

Nota: En la tabla 17 se observa los datos obtenidos en los promedios de las estaciones Santo Tomás automático y convencional

**Tabla 18.** Datos obtenidos de los promedios de las estaciones de Marca Cunka y Visca Visca

| Marca Cunka |           | Visca Visca |           |
|-------------|-----------|-------------|-----------|
| P           | P ANUAL   | P           | P ANUAL   |
| ANUAL       | ACUMULADA | ANUAL       | ACUMULADA |
| 1136.22     | 1136.2    | 1130.05     | 1130.1    |
| 832.55      | 1968.8    | 959.38      | 2089.4    |
| 915.18      | 2884      | 993.23      | 3082.7    |
| 858.23      | 3742.2    | 1091.3      | 4174      |
| 895.85      | 4638      | 1015.48     | 5189.4    |
| 948.96      | 5587      | 1084.64     | 6274.1    |
| 876.2       | 6463.2    | 1015.96     | 7290      |
| 717.08      | 7180.3    | 896.59      | 8186.6    |
| 738.7       | 7919      | 936.29      | 9122.9    |
| 865.25      | 8784.2    | 1044.75     | 10167.7   |
| 1165.51     | 9949.7    | 1207.04     | 11374.7   |
| 1218.53     | 11168.3   | 1302.35     | 12677.1   |
| 966.35      | 12134.6   | 1147.49     | 13824.6   |
| 872.42      | 13007     | 1051.15     | 14875.7   |
| 973.72      | 13980.8   | 1044.23     | 15919.9   |

|         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|
| 797.3   | 14778.1 | 936.11  | 16856   |
| 1311.16 | 16089.2 | 1371.98 | 18228   |
| 842.8   | 16932   | 874.41  | 19102.4 |
| 895.3   | 17827.3 | 1250.03 | 20352.5 |
| 1055.2  | 18882.5 | 1144.5  | 21497   |
| 1052.8  | 19935.3 | 1104.45 | 22601.4 |

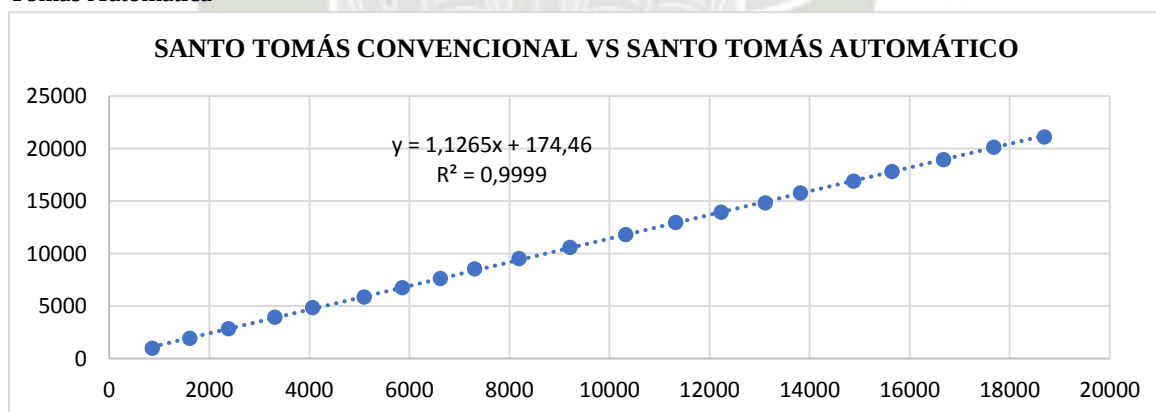
Nota: En la tabla 18 se observa los datos obtenidos en los promedios de las estaciones de Mara Cunka y Visca Visca

Después de hallar el promedio anual y hallar su acumulado se procederá a graficar las diferentes curvas de doble masa en las cuales se realizará una comparación de todas las estaciones de manera individual y una última con todas las estaciones en conjunto.

### Comparación 1

Estación de Santo Tomás Convencional vs estación Santo Tomás Automática

**Figura 30.** Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás Convencional vs estación Santo Tomás Automática

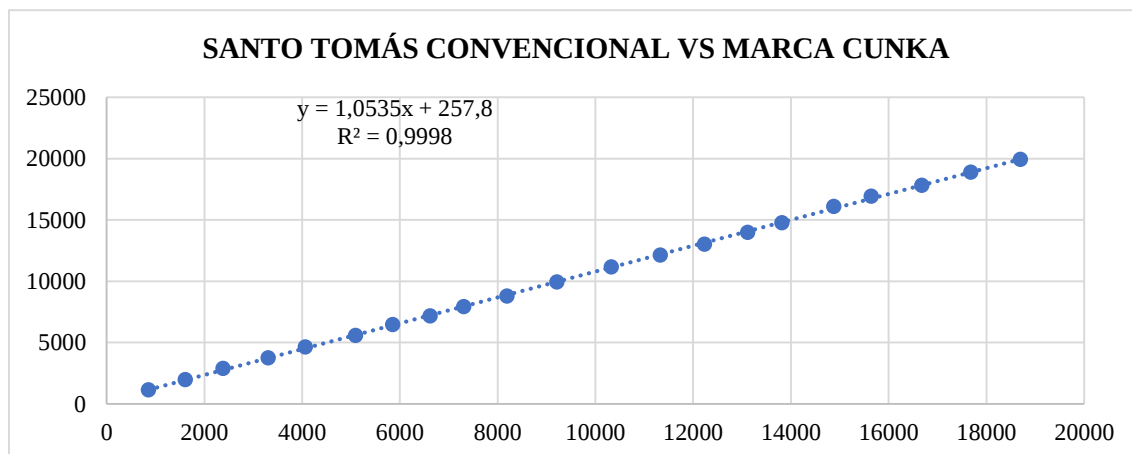


Nota: En la figura 30, se aprecia la comparación de la curva de doble masa entre la estación de Santo Tomás automático y convencional

## Comparación 2

Estación de Santo Tomás Convencionales vs estación Marca Kunca

**Figura 31.** Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás Convencional vs estación Marca Cunka

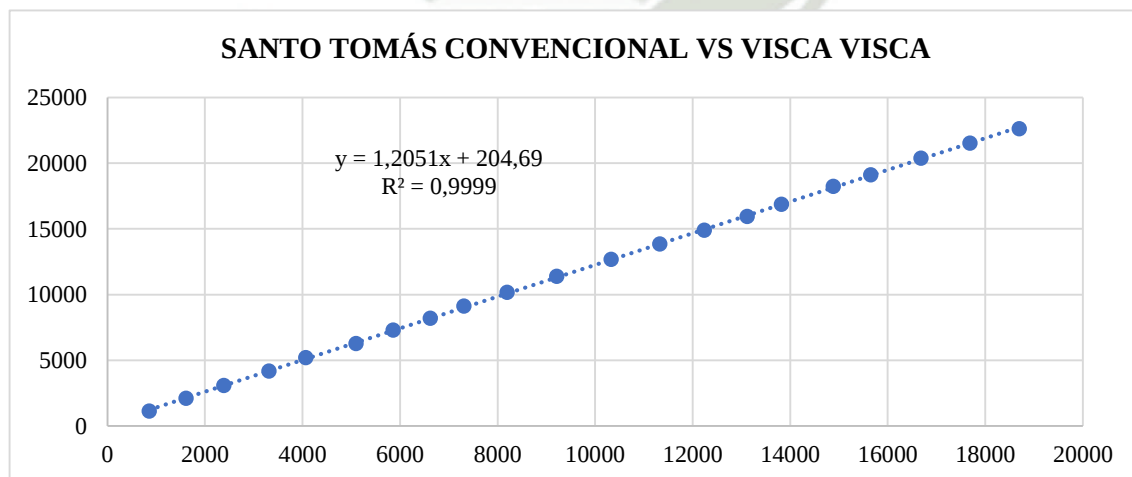


Nota: En la figura 31, se aprecia la comparación de la curva de doble masa entre la estación de Santo Tomás convencional y la estación Marca Cunka.

## Comparación 3

Estación de Santo Tomás Convencionales vs estación Visca Visca

**Figura 32.** Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás Convencional vs estación Visca Visca

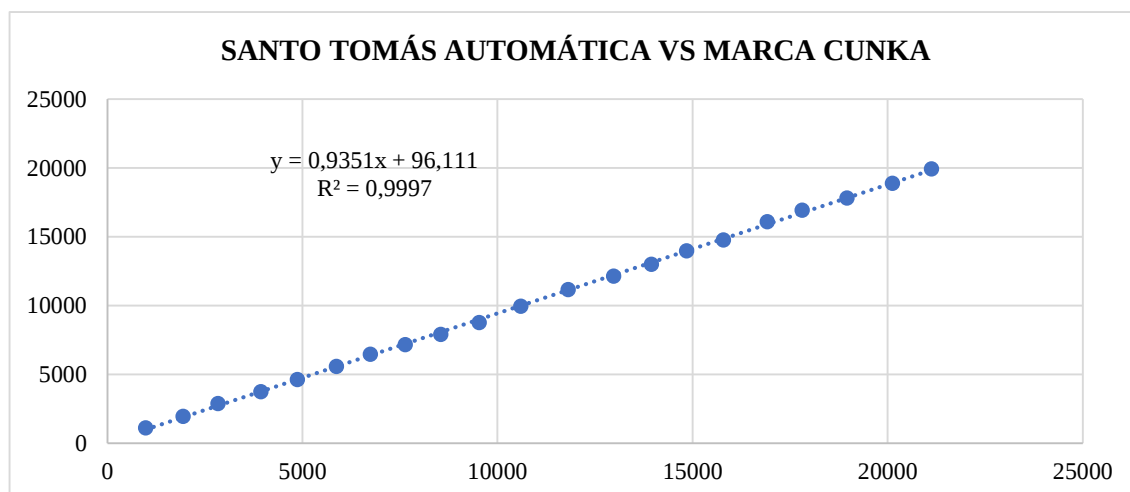


Nota: En la figura 32, se aprecia la comparación de la curva de doble masa entre la estación de Santo Tomás convencional y la estación Visca Visca.

## Comparación 4

Estación de Santo Tomás automática vs estación Marca Cunka

**Figura 33.** Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás automática vs estación Marca Cunka

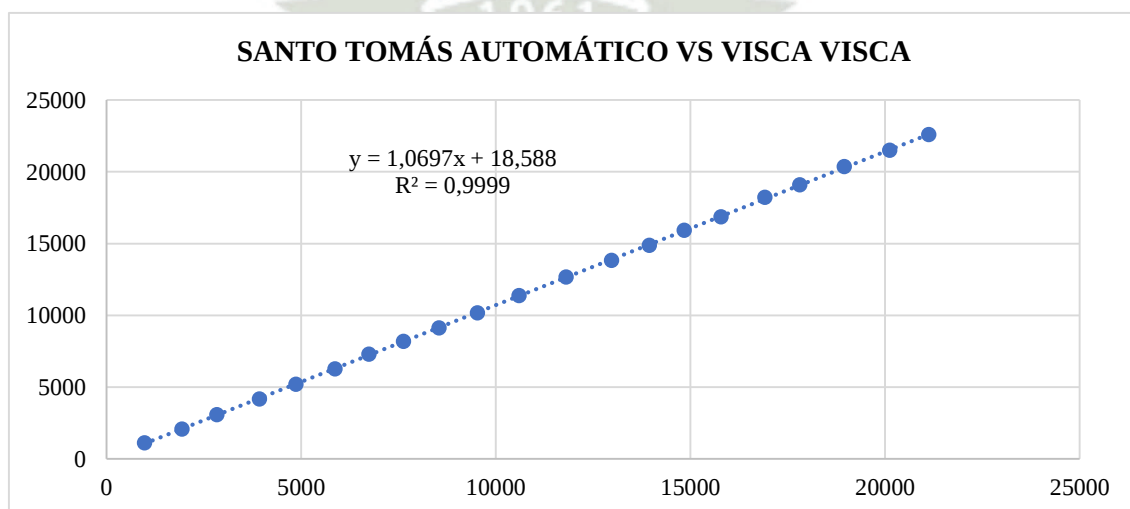


Nota: En la figura 33, se aprecia la comparación de la curva de doble masa entre la estación de Santo Tomás automática y la estación Marca Cunka.

## Comparación 5

Estación de Santo Tomás automática vs estación de Visca Visca

**Figura 34.** Comparación de la curva doble masa de estación Santo Tomás automática vs estación Visca Visca

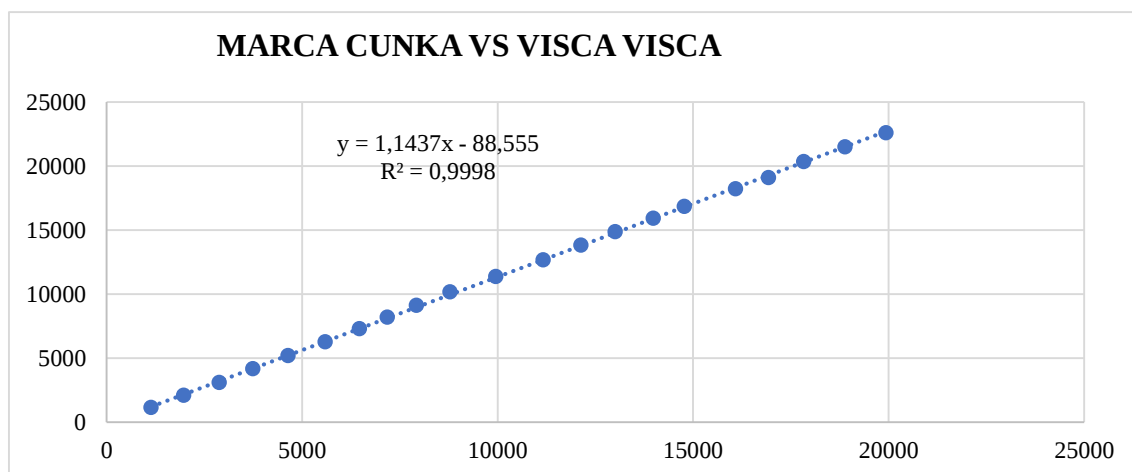


Nota: En la figura 34 se aprecia la comparación de la curva de doble masa entre la estación de Santo Tomás automática y la estación Visca Visca.

## Comparación 6

Estación de Marca Cunka vs estación de Visca

**Figura 35.** Comparación de la curva doble masa de estación Marca Cunka vs estación Visca Visca

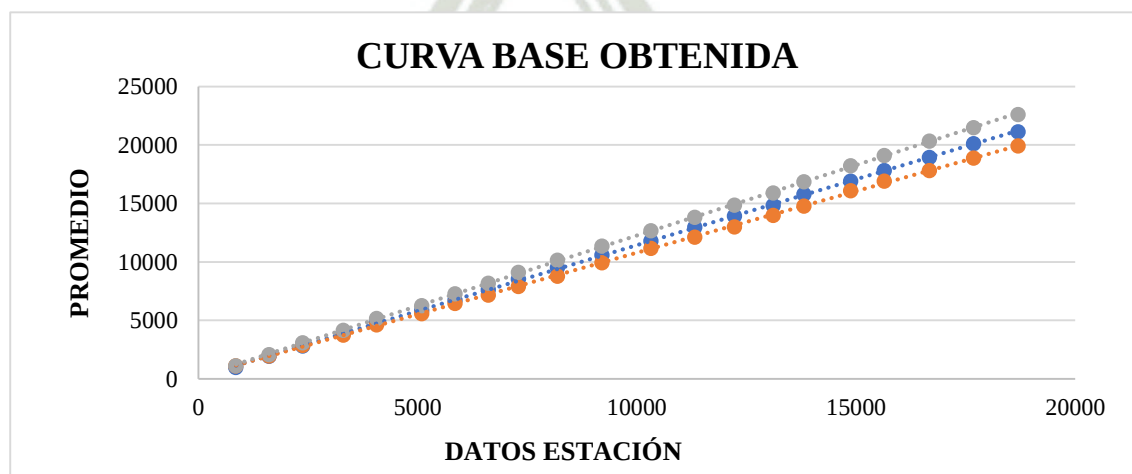


Nota: En la figura 35 se aprecia la comparación de la curva de doble masa entre la estación de Santo Tomás automática y la estación Visca Visca.

## Definitiva

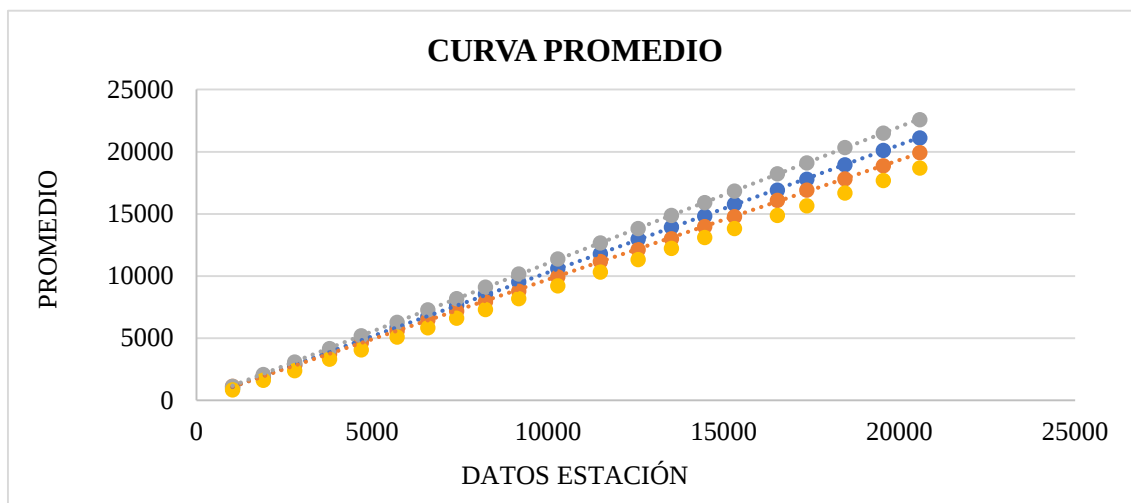
Una vez teniendo las estaciones juntas, se obtendrá una curva base, que es una gráfica general de todas las estaciones ya comparadas, en las que se obtendrá tres rectas, que representa la gráfica general obtenida

**Figura 36.** Curva base obtenida



Nota: En la figura 36, se observa las tres rectas que representan la curva base obtenida

**Figura 37.** Curva Promedio doble masa



Nota: En la figura 37, se obtuvo el promedio el promedio de las curvas

#### 4.1.3.3.3. Análisis de consistencia de datos de precipitación.

Para ello aplicaremos el análisis visual de medias y desviación estándar para cada estación Agrupamos los datos de las estaciones en dos puntos según el análisis precio de los gráficos en donde consideramos que hay un cambio en la media y desviación estándar y dividiremos en dos grupos los datos con ellos realizaremos la prueba de medias y desviación estándar en ellos para determinar si los datos son o no significativos.

$$S_p = \sqrt{\frac{(N_1-1)S_1^2 + (N_2-1)S_2^2}{N_1+N_2-2}} \quad \text{Luego: } S_d = S_p \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}} \quad (\text{Ec. 4.9})$$

Con este valor hallamos el estadístico:

tc: “t” de student calculado, aplicando:

$$tc: \frac{|X_{P1} - X_{P2}|}{S_d}$$

### Consistencia en la Desviación Estándar

Se calcula la varianza de cada serie y luego el estadístico F de Fisher calculando (Fc) aplicando:

$$S_1^2 > S_2^2 \quad F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (\text{Ec. 4.10})$$

$$S_2^2 > S_1^2 \quad F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2} \quad (\text{Ec. 4.11})$$

- Nivel de significancia:  $\alpha$
- Grados de Libertad:

#Datos del numerador menos 1

#Datos de denominador menos 1

**Tabla 19.** Desviación estándar (consistencia en la media) Estación Santo Tomas convencional

| Consistencia en la media |    |            |           |
|--------------------------|----|------------|-----------|
|                          |    | 1era Serie | 2da Serie |
| N                        |    | 134        | 118       |
| Xp                       |    | 72.24      | 76.41     |
| S                        |    | 74.64      | 79.82     |
| Sp                       |    | 77.105     |           |
| Sd                       |    | 9.734      |           |
| tc                       |    | 0.428      |           |
| $\alpha$                 |    | 0.050      |           |
| G. l                     |    | 250        |           |
| Sale de tabla            | Tt | 1.96       |           |

**ES CONSISTENTE**

Nota: En la tabla 19 se puede apreciar la desviación estándar obtenida en la estación santo Tomás convencional

**Tabla 20.** *Consistencia en la desviación estándar*

| Consistencia en la desviación estándar |                   |         |
|----------------------------------------|-------------------|---------|
|                                        | $S1^2$            | 5571.03 |
|                                        | $S2^2$            | 6370.44 |
|                                        | $F_c$             | 1.14    |
|                                        | $\alpha$          | 0.050   |
|                                        | G.I (numerador)   | 117     |
|                                        | G.I (denominador) | 133     |
| Sale de tabla                          | $F_t$             | 1.263   |
| <b>ES CONSISTENTE</b>                  |                   |         |

Nota: En la tabla 20 se puede apreciar la consistencia en la estándar obtenida en la estación Santo Tomás convencional.

**Tabla 21.** *Desviación estándar (consistencia en la media) Estación Santo Tomás Automático*

| Consistencia en la media |          |                   |                  |
|--------------------------|----------|-------------------|------------------|
|                          |          | <b>1era Serie</b> | <b>2da Serie</b> |
|                          | N        | 134               | 118              |
|                          | $X_p$    | 83.09             | 84.66            |
|                          | S        | 85.23             | 86.83            |
|                          | $S_p$    | 85.983            |                  |
|                          | $S_d$    | 10.855            |                  |
|                          | $t_c$    | 0.145             |                  |
|                          | $\alpha$ | 0.050             |                  |
|                          | G.I      | 250               |                  |
| Sale de tabla            | $T_t$    | 1.96              |                  |
| <b>ES CONSISTENTE</b>    |          |                   |                  |

Nota: En la tabla 21 se puede apreciar la desviación estándar obtenida en la estación Santo Tomás Automático

**Tabla 22.** *Consistencia en la desviación estándar estación Santo Tomás automático*

| Consistencia en la desviación estándar |        |         |
|----------------------------------------|--------|---------|
|                                        | $S1^2$ | 7264.02 |
|                                        | $S2^2$ | 7539.75 |

|               |                   |       |
|---------------|-------------------|-------|
|               | Fc                | 1.04  |
|               | $\alpha$          | 0.050 |
|               | G.I (numerador)   | 117   |
|               | G.I (denominador) | 133   |
| Sale de tabla | Ft                | 1.263 |

#### ES CONSISTENTE

Nota: En la tabla 22 se puede apreciar la desviación estándar obtenida en la estación Santo Tomás Automático

**Tabla 23.** Desviación estándar (consistencia en la media) Estación Visca Visca

| Consistencia en la media |            |           |
|--------------------------|------------|-----------|
|                          | 1era Serie | 2da Serie |
| N                        | 134        | 118       |
| Xp                       | 88.85      | 90.64     |
| S                        | 94.71      | 98.11     |
| Sp                       | 96.317     |           |
| Sd                       | 12.159     |           |
| tc                       | 0.148      |           |
| $\alpha$                 | 0.050      |           |
| G.I                      | 250        |           |
| Sale de tabla            | Tt         | 1.96      |

#### ES CONSISTENTE

Nota: En la tabla 23 se puede apreciar la desviación estándar obtenida en la estación Visca Visca

**Tabla 24.** Consistencia en la desviación estándar estación Visca Visca

| Consistencia en la desviación estándar |         |
|----------------------------------------|---------|
| S1 <sup>2</sup>                        | 8970.56 |
| S2 <sup>2</sup>                        | 9625.09 |
| Fc                                     | 1.07    |
| $\alpha$                               | 0.050   |
| G.I (numerador)                        | 117     |
| G.I (denominador)                      | 133     |

|                  |    |       |
|------------------|----|-------|
| Sale de<br>tabla | Tt | 1.263 |
|------------------|----|-------|

**ES CONSISTENTE**

Nota: En la tabla 24 se puede apreciar la desviación estándar obtenida en la estación Visca Visca

**Tabla 25.** Consistencia en la desviación estándar estación Marca Cunka

| Consistencia en la media |          |            |
|--------------------------|----------|------------|
|                          |          | 1era Serie |
|                          | N        | 123        |
|                          | Xp       | 77.29      |
|                          | S        | 84.78      |
|                          | Sp       | 86.100     |
|                          | Sd       | 10.851     |
|                          | tc       | 0.328      |
|                          | $\alpha$ | 0.050      |
|                          | G. l     | 250        |
| Sale de tabla            | Tt       | 1.96       |
|                          |          | ES         |
|                          |          | CONSISTEN  |
|                          |          | TE         |

Nota: En la tabla 25 se puede apreciar la desviación estándar obtenida en la estación Marca Cunka

**Tabla 26.** Consistencia en la desviación estándar estación Marca Cunka

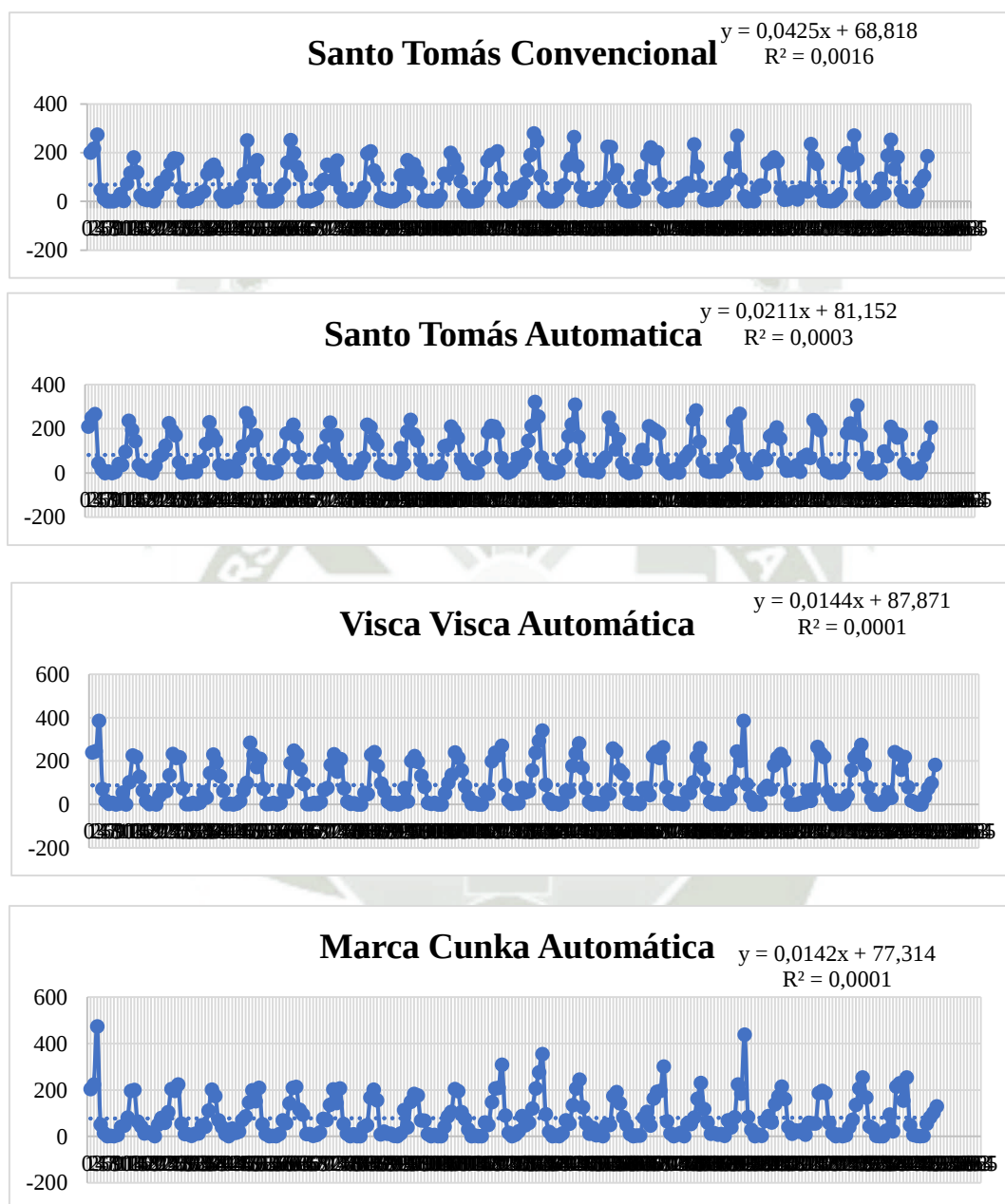
| Consistencia en la desviación estándar |                   |         |
|----------------------------------------|-------------------|---------|
|                                        | S1^2              | 7187.85 |
|                                        | S2^2              | 7628.06 |
|                                        | Fc                | 1.06    |
|                                        | $\alpha$          | 0.050   |
|                                        | G.l (numerador)   | 128     |
|                                        | G.I (denominador) | 122     |
| Sale de tabla                          | Ft                | 1.263   |

**ES CONSISTENTE**

Nota: En la tabla 26 se puede apreciar la desviación estándar obtenida en la estación Marca Cunka

**Figura 38.** Gráfico de tendencia en la desviación media

**Estaciones análisis de datos promedio en 21 años**



Nota: En la figura 38 se puede apreciar los gráficos de tendencia en cada una de las tendencias en las estaciones con datos de promedios de 21 años.

**La obtención del estadístico se hará la con la siguiente formula:**

$$t_c = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (\text{Ec. 4.12})$$

**Tabla 27.** *Tendencia en la media*

| SANTO TOMAS CONVENCIONAL         |         |
|----------------------------------|---------|
| TENDENCIA EN LA MEDIA            |         |
| A                                | 68.818  |
| B                                | 0.0425  |
| R <sup>2</sup>                   | 0.0016  |
| R                                | 0.04000 |
| N                                | 252     |
| tc                               | 0.63296 |
| $\alpha$ (%)                     | 0.05    |
| G.L.                             | 250     |
| Tt                               | 1.96    |
| La tendencia no es significativa |         |

Nota: En la tabla 27 se aprecia los resultados de tendencia a la media en la estación Santo Tomás Convencional

**Tabla 28.** *Tendencia en la media en la estación Santo Tomás Automática*

| SANTO TOMAS AUTOMÁTICA           |         |
|----------------------------------|---------|
| TENDENCIA EN LA MEDIA            |         |
| A                                | 81.152  |
| B                                | 0.0211  |
| R <sup>2</sup>                   | 0.0003  |
| R                                | 0.01732 |
| N                                | 252     |
| tc                               | 0.27390 |
| $\alpha$ (%)                     | 0.05    |
| G.L.                             | 250     |
| Tt                               | 1.96    |
| La tendencia no es significativa |         |

Nota: En la tabla 28 se aprecia los resultados de tendencia a la media en la estación Santo Tomás automática

**Tabla 29.** *Tendencia en la media estación Visca Visca*

| VISCA VISCA                      |         |
|----------------------------------|---------|
| TENDENCIA EN LA MEDIA            |         |
| A                                | 87.871  |
| B                                | 0.0144  |
| R <sup>2</sup>                   | 0.0001  |
| R                                | 0.01000 |
| N                                | 252     |
| tc                               | 0.15812 |
| $\alpha$ (%)                     | 0.05    |
| G.L.                             | 250     |
| Tt                               | 1.96    |
| La tendencia no es significativa |         |

Nota: En la tabla 29 se aprecia los resultados de tendencia a la media en la estación Visca Visca

**Tabla 30.** *Tendencia en la media estación Marca Cunka*

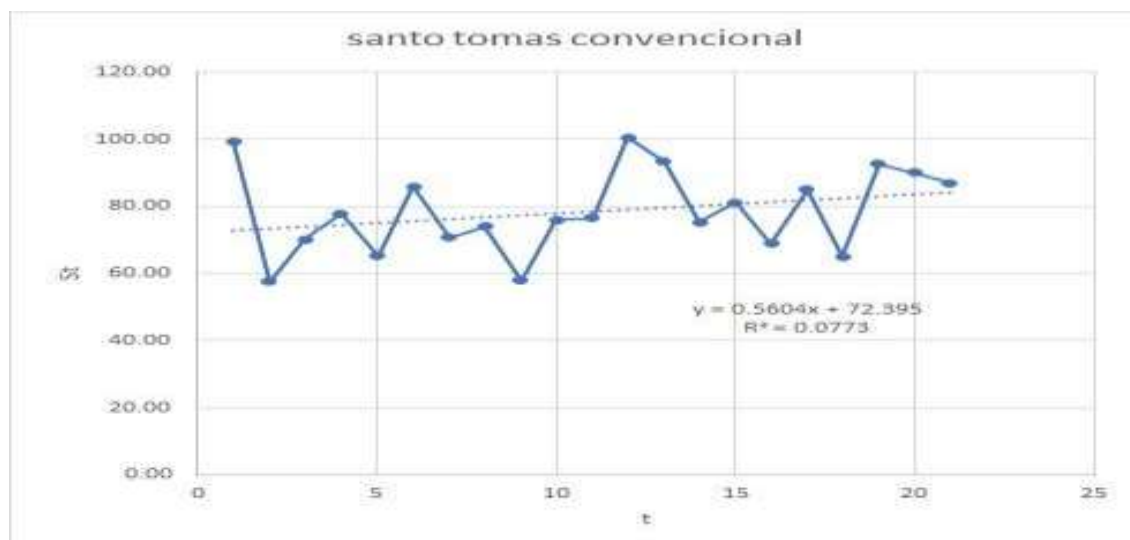
| MARCA CUNKA           |         |
|-----------------------|---------|
| TENDENCIA EN LA MEDIA |         |
| A                     | 77.314  |
| B                     | 0.0142  |
| R <sup>2</sup>        | 0.0001  |
| R                     | 0.01000 |
| N                     | 252     |
| tc                    | 0.15812 |
| $\alpha$ (%)          | 0.05    |
| G.L.                  | 250     |
| Tt                    | 1.96    |

La tendencia no es significativa

Nota: En la tabla 30 se aprecia los resultados de tendencia a la media en la estación Marca Cunka

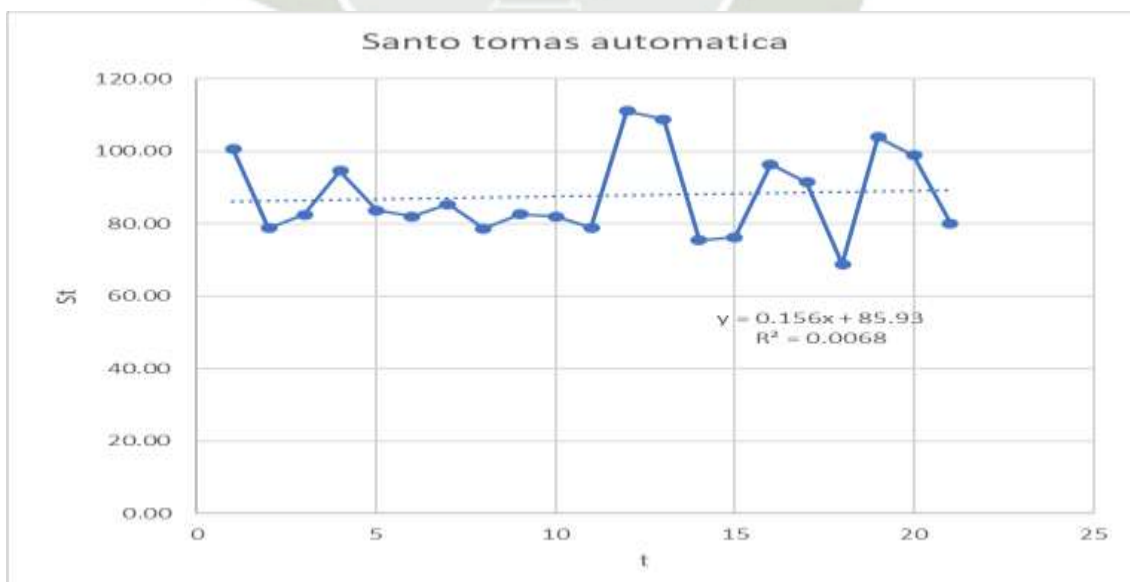
## Tendencia en la Desviación Estándar

**Figura 39.** Tendencia en la desviación estándar- Estación Santo Tomás convencional



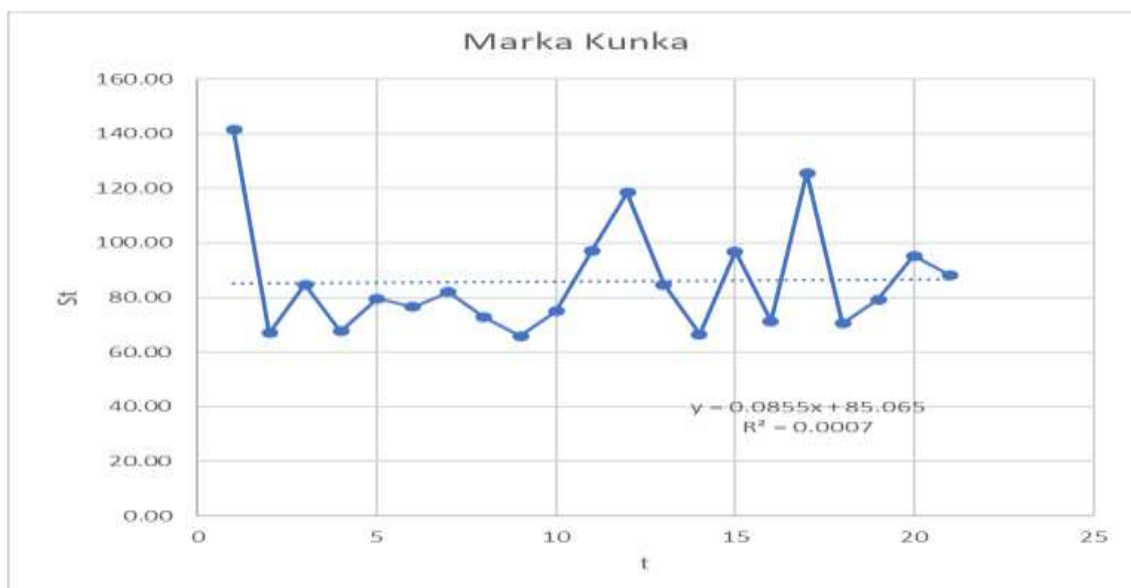
Nota: En la figura 39, se aprecia la tendencia en la desviación estándar en la estación Santo Tomás convencional

**Figura 40.** Tendencia en la desviación estándar- Estación Santo Tomás automática



Nota: En la figura 40, se aprecia la tendencia en la desviación estándar en la estación Santo Tomás automática

**Figura 41.** Tendencia en la desviación estándar- Estación Marca Cunka



Nota: En la figura 41, se aprecia la tendencia en la desviación estándar en la estación Marca Cunka

**Figura 42.** Tendencia en la desviación estándar- Estación Visca Visca



Nota: En la figura 42 se aprecia la tendencia en la desviación estándar en la estación Visca Visca

Por ello, que se determina que los datos de las estaciones son congruentes y la tendencia no es significativa, por ende, no se eliminará ninguno de ellos.

Después de hacer las pruebas de consistencia, se procede a realizar la completación de los datos.

La primera estación que se completará por su cantidad de datos disponibles completos, es la estación de Santo Tomas Convencional

Esta a su vez se usará como estación madre para hacer el respectivo cálculo de las demás estaciones.

Cabe recalcar que, solo se usarán los promedios de cada año y se completarán con el método del promedio aritmético simple. Asimismo, este método solo se puede usar cuando falta menos del 10% de los datos, como es el presente caso.

Esta estación es la base para completaciones posteriores:

*Promedio*

$$= \frac{\sum_{n=0}^{21} \text{numero datos de el mes de la estacion}}{\text{numero de datos totales}}$$

Y con ello, completaremos los siguientes números de la estación de Santo Tomás.

A continuación, se presentan las precipitaciones de Santo Tomás completadas.

**Tabla 31.** *Precipitaciones promedio completadas de la Estación Santo Tomás Convencional*

| PRECIPITACIONES PROMEDIO ESTACION SANTO TOMAS |        |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
|-----------------------------------------------|--------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| Año                                           | Enero  | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| 2001                                          | 199.5  | 215.9   | 274   | 46.3  | 11.2 | 0     | 0     | 0      | 7.9        | 29.6    | 1.3       | 72.7      |
| 2002                                          | 115.9  | 180.3   | 119.2 | 25.6  | 9.8  | 6     | 14    | 0      | 31.8       | 76      | 71.9      | 103.7     |
| 2003                                          | 154    | 175.8   | 173.2 | 54.4  | 0    | 2.4   | 0     | 13.5   | 10.8       | 33.9    | 40.3      | 113.3     |
| 2004                                          | 140.7  | 149.6   | 121.3 | 22.4  | 0    | 0     | 34    | 18.4   | 15.6       | 60.2    | 112       | 250       |
| 2005                                          | 126    | 121     | 169   | 49.7  | 0    | 0     | 0     | 0      | 9.7        | 54.6    | 69.4      | 159       |
| 2006                                          | 251.2  | 197.4   | 140.6 | 108.1 | 0    | 2.6   | 0     | 6.9    | 13.1       | 71.3    | 87.6      | 150.4     |
| 2007                                          | 145.6  | 92      | 168.1 | 53.2  | 7.7  | 0     | 8.9   | 0      | 4.9        | 27.9    | 56.3      | 195.7     |
| 2008                                          | 205.4  | 126.4   | 100.8 | 13.1  | 8.2  | 3.1   | 0     | 0      | 10.8       | 106.2   | 21.2      | 168.5     |
| 2009                                          | 91.2   | 152.4   | 121.5 | 73.5  | 3.7  | 0     | 3     | 0      | 0          | 22.5    | 112.8     | 105.5     |
| 2010                                          | 198.3  | 175.2   | 136.9 | 82.8  | 23.8 | 0     | 0.7   | 0      | 3.3        | 42.2    | 58.5      | 166.4     |
| 2011                                          | 190.1  | 191.5   | 205.3 | 95.8  | 11.7 | 0.4   | 4.8   | 29.5   | 56.3       | 34.3    | 72        | 126.2     |
| 2012                                          | 190.3  | 278.1   | 246.9 | 102.3 | 16   | 0     | 0.9   | 0      | 11         | 55.3    | 66.9      | 147       |
| 2013                                          | 174.45 | 263.2   | 144   | 58.2  | 7    | 10.5  | 1.7   | 17     | 6.1        | 35.6    | 58.3      | 223.5     |
| 2014                                          | 222.7  | 102.4   | 127.8 | 43.8  | 5.5  | 0     | 0.5   | 3.8    | 55.5       | 103.3   | 52.1      | 190.3     |
| 2015                                          | 221.3  | 176.5   | 201   | 70.6  | 10.1 | 0     | 4.3   | 18.6   | 4.1        | 38.9    | 63.4      | 73.53     |
| 2016                                          | 63.5   | 234.2   | 141.5 | 62.9  | 7.4  | 3.7   | 5.6   | 12.4   | 6.6        | 55.5    | 33.8      | 75.2      |
| 2017                                          | 175.8  | 162.5   | 269.1 | 89.9  | 20.8 | 0     | 10.4  | 0      | 50.5       | 65.5    | 61.7      | 155       |
| 2018                                          | 162.2  | 179.5   | 163.2 | 48.7  | 6.9  | 7.7   | 19.5  | 37.3   | 8          | 42.7    | 51.6      | 40.6      |
| 2019                                          | 234.5  | 176.7   | 153.8 | 42.8  | 3.1  | 1.3   | 0     | 1.5    | 15.3       | 29.1    | 177.3     | 197.6     |
| 2020                                          | 148.3  | 269.7   | 171.4 | 30.5  | 48.1 | 0     | 0     | 0      | 20         | 93.3    | 32.4      | 187.3     |
| 2021                                          | 252.5  | 132.7   | 180.9 | 41.7  | 6.3  | 0     | 0.4   | 0      | 27.5       | 82.5    | 104.5     | 185.6     |

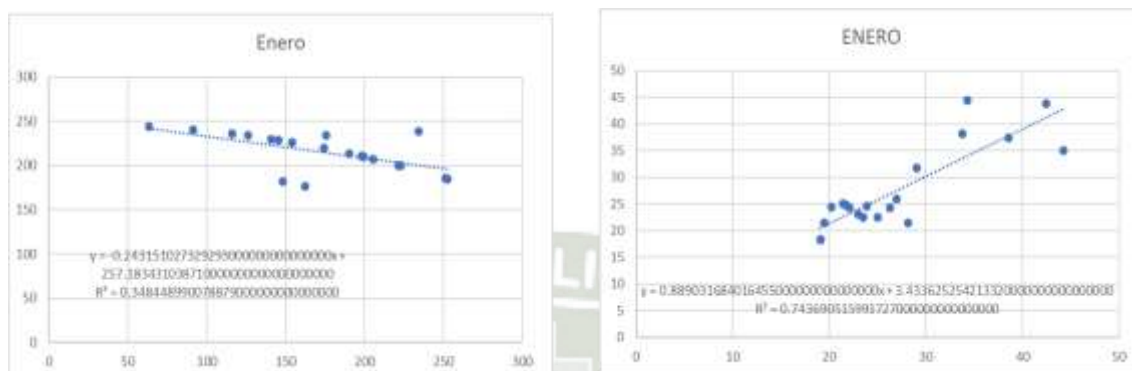
En la tabla 31 se aprecia las precipitaciones promedio completadas en la estación de Santo Tomás, datos tomados de SENAMHI Cusco.

**Tabla 32.** *Precipitaciones máximas mensuales en la estación Santo Tomás Convencional*

| PRECIPITACIONES MAXIMAS MENSUALES EN LA ESTACION SANTO TOMAS |       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
|--------------------------------------------------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| AÑO/MES                                                      | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 2001                                                         | 19.5  | 29.2    | 28.7  | 29.8  | 8.9  | 0     | 0     | 0      | 7.9        | 13.5    | 1.3       | 27        |
| 2002                                                         | 21.8  | 32.3    | 35.6  | 7.8   | 7.4  | 3.8   | 10.2  | 0      | 10.2       | 15.7    | 13.8      | 26        |
| 2003                                                         | 21.4  | 25.5    | 24.6  | 12.8  | 0    | 2.4   | 0     | 9.4    | 8.4        | 18.1    | 23.3      | 17.8      |
| 2004                                                         | 25    | 25.2    | 26.2  | 7.5   | 0    | 0     | 19    | 18.4   | 15.6       | 21.4    | 37.6      | 37.8      |
| 2005                                                         | 33.8  | 16.2    | 24.5  | 14.5  | 0    | 0     | 0     | 0      | 4.9        | 12.6    | 14.4      | 19.7      |
| 2006                                                         | 42.5  | 34.6    | 36.3  | 17.6  | 0    | 2.6   | 0     | 3.9    | 5.9        | 30.3    | 20.7      | 36.1      |
| 2007                                                         | 19.1  | 28.8    | 20.5  | 12.8  | 3.2  | 0     | 8.3   | 0      | 2.9        | 10.8    | 14.7      | 41.5      |
| 2008                                                         | 22.1  | 26.4    | 17.8  | 5.5   | 8.2  | 1.8   | 0     | 0      | 4.3        | 22.1    | 5.2       | 33.6      |
| 2009                                                         | 20.2  | 19.8    | 20.9  | 22.6  | 2.6  | 0     | 3     | 0      | 0          | 7.4     | 21.5      | 20.9      |
| 2010                                                         | 23.5  | 45      | 28.7  | 32    | 10.5 | 0     | 0.7   | 0      | 2.8        | 16.8    | 29.5      | 21        |
| 2011                                                         | 23.3  | 28.5    | 26    | 26    | 5.8  | 0.4   | 4.8   | 11.7   | 11.1       | 15.2    | 25.5      | 19.9      |
| 2012                                                         | 23    | 28.9    | 32.2  | 30.2  | 0.8  | 0     | 0.9   | 0      | 9          | 18.3    | 18.6      | 26.2      |
| 2013                                                         | 27    | 37.7    | 21.5  | 34    | 2.9  | 7.2   | 1.7   | 13.2   | 2.8        | 15.6    | 17        | 32.6      |
| 2014                                                         | 29.1  | 25.9    | 22.1  | 8.7   | 2.7  | 0     | 0.4   | 3.3    | 19.6       | 51.5    | 13.5      | 25.7      |
| 2015                                                         | 26.3  | 22.3    | 42.9  | 17.8  | 10.1 | 0     | 2.4   | 8.3    | 3          | 15.6    | 11.6      | 0         |
| 2016                                                         | 19.1  | 25.2    | 35.2  | 27    | 4.3  | 3     | 5.6   | 9.4    | 3.2        | 7.9     | 12.9      | 8.3       |
| 2017                                                         | 23.9  | 24.8    | 51.9  | 36.8  | 5.8  | 0     | 10    | 0      | 16.2       | 15.8    | 11.8      | 33.6      |
| 2018                                                         | 28.2  | 22.7    | 16.8  | 13.6  | 3.2  | 4.9   | 13    | 25.9   | 5.7        | 11.3    | 15.4      | 8.7       |
| 2019                                                         | 44.3  | 22.1    | 23.3  | 7.5   | 2    | 1.3   | 5.5   | 1.2    | 12.1       | 11.1    | 44.8      | 50.3      |
| 2020                                                         | 34.3  | 36.1    | 18.5  | 7.8   | 21.4 | 0     | 0     | 0      | 11.5       | 27.2    | 21        | 29.5      |
| 2021                                                         | 38.6  | 27.6    | 25.9  | 10.4  | 3.1  | 0     | 0.4   | 0      | 7.6        | 25.5    | 15.8      | 33.4      |
| PROM                                                         | 26.9  | 27.8    | 27.6  | 18.2  | 4.9  | 1.3   | 4.1   | 4.9    | 7.8        | 18.3    | 18.6      | 26.2      |

Nota: En la tabla 32 se aprecia las precipitaciones máximas mensuales en la estación de Santo Tomás, datos tomados de SENAMHI Cusco.

**Figura 43.** Gráfico de regresión simple (ejemplo mes de enero)



La regresión se hará con los valores que existan de cada una las estaciones normales y la madre; y se reemplazará una por una para la competición obrándose por x veces usar un valor que se considere más real.

A continuación, se describen cada una de las precipitaciones promedio en cada una de las estaciones analizadas.

**Tabla 33.** Precipitación promedio estación Santo Tomás Automática

| PRECIPITACIONES PROMEDIO ESTACION SANTO TOMAS AUTOMÁTICA |        |         |        |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
|----------------------------------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| AÑO                                                      | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 2001                                                     | 209.8  | 252.04  | 267.26 | 44.41 | 16.19 | 0.01  | 6.68  | 0.06   | 5.05       | 40.97   | 36.99     | 96.37     |
| 2002                                                     | 235.86 | 195.3   | 144.33 | 36.31 | 13.98 | 9.1   | 12.26 | 0.53   | 31.69      | 74.89   | 83.45     | 123.28    |
| 2003                                                     | 226.03 | 190.7   | 170.14 | 47.66 | 1.9   | 3.71  | 6.68  | 9.89   | 5.52       | 48.97   | 53.81     | 132.38    |
| 2004                                                     | 229.85 | 173.41  | 146.37 | 35.13 | 1.9   | 0.01  | 31.8  | 17.28  | 6.8        | 65.61   | 120.37    | 270.82    |
| 2005                                                     | 233.59 | 146.42  | 169.79 | 45.78 | 1.9   | 0.01  | 6.68  | 0.53   | 5.39       | 64.83   | 81        | 178.35    |
| 2006                                                     | 185.4  | 218.89  | 162.06 | 71.88 | 1.9   | 4.05  | 6.68  | 4.49   | 5.88       | 70.88   | 98.58     | 169.47    |
| 2007                                                     | 228.49 | 79.61   | 169.72 | 47.18 | 11.25 | 0.01  | 7.45  | 0.53   | 3.21       | 37.82   | 68.25     | 218.09    |
| 2008                                                     | 207.33 | 154.19  | 130.21 | 31.82 | 11.83 | 4.93  | 6.68  | 0.53   | 5.52       | 112.53  | 40.86     | 188.3     |
| 2009                                                     | 240.39 | 174.91  | 146.56 | 55.8  | 7.88  | 0.01  | 9.49  | 0.53   | 0          | 30.71   | 121.05    | 124.96    |
| 2010                                                     | 210.29 | 190.13  | 159.7  | 60.43 | 34.06 | 0.01  | 8.18  | 0.53   | 0.97       | 60.1    | 70.36     | 186.09    |
| 2011                                                     | 213.55 | 209.71  | 183.92 | 67.43 | 17.04 | 0.72  | 8.7   | 24.85  | 67.54      | 49.67   | 83.54     | 145.02    |
| 2012                                                     | 213.47 | 321.03  | 254.98 | 70.4  | 24.52 | 0.01  | 8.49  | 0.53   | 5.54       | 64.9    | 78.56     | 165.99    |
| 2013                                                     | 219.34 | 309.69  | 163.91 | 49.2  | 10.52 | 15.67 | 9.28  | 15.1   | 4.22       | 51.84   | 70.17     | 249.56    |
| 2014                                                     | 199.63 | 107.15  | 152.45 | 43.41 | 9.23  | 0.01  | 7.82  | 3.66   | 64.83      | 103.91  | 64.28     | 212       |
| 2015                                                     | 200.28 | 191.37  | 180.09 | 54.47 | 14.43 | 0.01  | 8.98  | 17.58  | 2.23       | 56.59   | 75.12     | 97.04     |
| 2016                                                     | 243.76 | 283.25  | 141    | 50.2  | 9.2   | 5.8   | 9.4   | 7.8    | 7          | 63.8    | 29.2      | 95.4      |
| 2017                                                     | 233.6  | 160.4   | 267.4  | 64.8  | 30.4  | 0.4   | 7     | 0.6    | 56.8       | 75.8    | 62.4      | 166.6     |
| 2018                                                     | 176.8  | 206.2   | 154.8  | 46.4  | 10.6  | 11.8  | 24    | 35     | 5.8        | 73      | 82.4      | 68.2      |
| 2019                                                     | 238.6  | 218.6   | 194.2  | 43.6  | 8.6   | 1.4   | 9     | 3.3    | 2.2        | 20.9    | 181.8     | 224.4     |
| 2020                                                     | 181.9  | 305.1   | 169.98 | 38.16 | 68.58 | 0.01  | 6.68  | 0.53   | 10.57      | 97.2    | 77        | 208.66    |
| 2021                                                     | 184.71 | 161.32  | 171.1  | 42.57 | 9.88  | 0.01  | 7.62  | 0.53   | 23.01      | 81.2    | 113.93    | 206.78    |

Nota: En la tabla 33 se aprecia la precipitación promedio en la estación Santo Tomás automática, con datos completados.

**Tabla 34.** Precipitaciones máximas estación Santo Tomás automática

| PRECIPITACIONES MAXIMAS ESTACION SANTO TOMÁS AUTOMÁTICA |       |         |       |       |       |       |       |        |           |         |           |           |
|---------------------------------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|---------|-----------|-----------|
| AÑO                                                     | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SETIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 2001                                                    | 21.41 | 28.94   | 28.85 | 15.83 | 6.92  | 0     | 0     | 0.06   | 4.14      | 14.92   | 22.51     | 30.71     |
| 2002                                                    | 24.67 | 31.54   | 28.66 | 8.63  | 6.71  | 5.61  | 8.47  | 0.06   | 5.92      | 15.95   | 19.48     | 30.26     |
| 2003                                                    | 25.07 | 29.45   | 21.2  | 11.86 | 3.08  | 3.93  | 0     | 7.72   | 4.91      | 17.47   | 27        | 25.95     |
| 2004                                                    | 22.44 | 29.49   | 23.79 | 8.26  | 3.08  | 0     | 16.16 | 12.29  | 8.18      | 19.05   | 23.83     | 36.84     |
| 2005                                                    | 38.13 | 20      | 21.08 | 12.48 | 3.08  | 0     | 0     | 0.06   | 0.17      | 14.67   | 20.64     | 27.08     |
| 2006                                                    | 43.75 | 33.11   | 27.49 | 13.55 | 3.08  | 4.41  | 0     | 3.21   | 0.75      | 21.49   | 27.46     | 35.57     |
| 2007                                                    | 18.33 | 28.83   | 22.59 | 11.86 | 4.04  | 0     | 7.06  | 0.06   | 3.27      | 14.35   | 21.19     | 39.98     |
| 2008                                                    | 24.28 | 29.2    | 26.02 | 4.64  | 6.87  | 2.33  | 0     | 0.06   | 0.53      | 19.2    | 8.46      | 33.96     |
| 2009                                                    | 24.38 | 19.7    | 21.95 | 14.91 | 4.08  | 0     | 3.18  | 0.06   | 0         | 11.66   | 27.5      | 27.76     |
| 2010                                                    | 22.55 | 37.42   | 28.85 | 15.98 | 7.73  | 0     | 0     | 0.06   | 3.52      | 16.63   | 22.07     | 27.81     |
| 2011                                                    | 22.73 | 28.79   | 23.41 | 15.44 | 5.73  | 0.98  | 5.66  | 8.78   | 5.32      | 15.67   | 25.52     | 27.2      |
| 2012                                                    | 23.07 | 28.85   | 32.22 | 15.87 | 4.4   | 0     | 0     | 0.06   | 5.59      | 17.6    | 26.45     | 30.35     |
| 2013                                                    | 25.9  | 27.53   | 21.13 | 15.89 | 4.04  | 11.13 | 0.48  | 9.46   | 3.52      | 15.89   | 24.8      | 33.39     |
| 2014                                                    | 31.77 | 29.36   | 20.55 | 9.55  | 4.06  | 0     | 0     | 2.53   | 11.55     | 29.01   | 18.88     | 30.13     |
| 2015                                                    | 24.29 | 27.07   | 33.85 | 13.62 | 7.32  | 0     | 1.99  | 7.11   | 3.02      | 15.89   | 14.95     | 16.59     |
| 2016                                                    | 18.33 | 29.49   | 22    | 17.8  | 4.2   | 4.8   | 8     | 7.6    | 3.8       | 12.2    | 15        | 21.8      |
| 2017                                                    | 24.6  | 33      | 47.6  | 14    | 6.2   | 0.2   | 7     | 0.6    | 12.8      | 17.8    | 10.8      | 36.2      |
| 2018                                                    | 21.4  | 25.2    | 21    | 11    | 4.4   | 8     | 14    | 18     | 2.2       | 15      | 28.8      | 18.4      |
| 2019                                                    | 35    | 24.4    | 27    | 8.6   | 4.4   | 0.8   | 1.4   | 0.2    | 1         | 15      | 33.4      | 43        |
| 2020                                                    | 44.4  | 31.2    | 25.75 | 8.63  | 13.38 | 0     | 0     | 0.06   | 4.91      | 19.8    | 31.4      | 31.84     |
| 2021                                                    | 37.38 | 28.85   | 23.22 | 10.75 | 4.04  | 0     | 0     | 0.06   | 3.61      | 19.13   | 23.08     | 33.84     |

Nota: En la tabla 34 se aprecia las precipitaciones máximas en la estación Santo Tomás automática, con datos completados

**Tabla 35.** *Precipitaciones promedio estación Visca Visca*

| PRECIPITACIONES PROMEDIO ESTACION VISCA VISCA |        |         |        |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
|-----------------------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| AÑO                                           | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 2001                                          | 239.67 | 245.23  | 385.85 | 71.84 | 16.89 | 2.96  | 6.89  | 0.32   | 4.22       | 54.28   | 0         | 101.9     |
| 2002                                          | 226.43 | 218.09  | 127.37 | 64.61 | 15.03 | 0.72  | 4.24  | 0.32   | 39.34      | 67.57   | 61.7      | 133.96    |
| 2003                                          | 232.47 | 214.66  | 217.54 | 74.67 | 2.02  | 2.07  | 6.89  | 2.74   | 8.49       | 55.51   | 32.29     | 143.88    |
| 2004                                          | 230.36 | 194.68  | 130.88 | 63.49 | 2.02  | 2.96  | 0.46  | 3.62   | 15.54      | 63.04   | 99.03     | 285.22    |
| 2005                                          | 228.03 | 172.88  | 210.53 | 73.03 | 2.02  | 2.96  | 6.89  | 0.32   | 6.87       | 61.44   | 59.38     | 191.13    |
| 2006                                          | 247.86 | 231.13  | 163.11 | 93.43 | 2.02  | 1.99  | 6.89  | 1.56   | 11.87      | 66.22   | 76.32     | 182.24    |
| 2007                                          | 231.14 | 150.77  | 209.02 | 74.25 | 12.24 | 2.96  | 5.21  | 0.32   | 0          | 53.79   | 47.18     | 229.08    |
| 2008                                          | 240.61 | 176.99  | 96.65  | 60.24 | 12.91 | 1.8   | 6.89  | 0.32   | 8.49       | 76.22   | 14.51     | 200.96    |
| 2009                                          | 222.52 | 196.82  | 131.21 | 81.34 | 6.94  | 2.96  | 6.33  | 0.32   | 0          | 52.25   | 99.78     | 135.82    |
| 2010                                          | 239.48 | 214.2   | 156.93 | 84.59 | 33.61 | 2.96  | 6.76  | 0.32   | 0          | 57.89   | 49.23     | 198.78    |
| 2011                                          | 238.19 | 226.63  | 271.14 | 89.13 | 17.55 | 2.81  | 5.98  | 5.62   | 75.34      | 55.63   | 61.8      | 157.22    |
| 2012                                          | 238.22 | 292.65  | 340.6  | 91.41 | 23.26 | 2.96  | 6.72  | 0.32   | 8.78       | 61.63   | 57.07     | 178.73    |
| 2013                                          | 235.71 | 281.29  | 168.78 | 76    | 11.32 | 0     | 6.57  | 3.37   | 1.58       | 56      | 49.05     | 257.82    |
| 2014                                          | 243.35 | 158.7   | 141.73 | 70.97 | 9.32  | 2.96  | 6.8   | 1      | 74.16      | 75.39   | 43.27     | 223.5     |
| 2015                                          | 243.13 | 215.19  | 263.96 | 80.33 | 15.43 | 2.96  | 6.08  | 3.66   | 0          | 56.94   | 53.79     | 102.76    |
| 2016                                          | 218.13 | 259.18  | 164.61 | 77.64 | 11.85 | 1.58  | 5.83  | 2.55   | 2.31       | 61.7    | 26.24     | 104.49    |
| 2017                                          | 244.54 | 202.06  | 385.02 | 92.63 | 33.56 | 0.15  | 10.63 | 0.56   | 68.51      | 84.89   | 69.62     | 179.81    |
| 2018                                          | 216.07 | 232.63  | 201.87 | 57.1  | 0     | 0.3   | 0.3   | 7      | 9.8        | 62.6    | 17.4      | 69.34     |
| 2019                                          | 265.23 | 235.3   | 219.1  | 57.4  | 25.6  | 1.2   | 17.8  | 1      | 12.2       | 41      | 156.8     | 217.4     |
| 2020                                          | 237.1  | 275.2   | 184    | 79.2  | 23.4  | 0.6   | 0     | 0      | 17.8       | 56.4    | 30.2      | 240.6     |
| 2021                                          | 231.6  | 160.2   | 218.6  | 80.6  | 16.8  | 9.2   | 0     | 0      | 33         | 73.8    | 97.8      | 182.85    |

Nota: En la tabla 35 se aprecia la precipitación promedio en la estación Visca Visca, con datos completados

**Tabla 36.** Precipitaciones máximas estación Visca Visca

| PRECIPITACIONES MAXIMAS ESTACION VISCA VISCA |       |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
|----------------------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| AÑO                                          | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 2001                                         | 30.48 | 24.64   | 27.29 | 6.63  | 4.02  | 1.72  | 0     | 0.32   | 14.54      | 12.15   | 5.41      | 36.21     |
| 2002                                         | 29.44 | 25.3    | 29.49 | 9.41  | 7.95  | 2.22  | 8.17  | 0.32   | 13.83      | 13.44   | 12.82     | 36.61     |
| 2003                                         | 29.72 | 28.74   | 22.39 | 8.83  | 4.8   | 2.77  | 0     | 0.56   | 15.55      | 14.35   | 17.01     | 37.9      |
| 2004                                         | 29.14 | 29.07   | 24.63 | 8.96  | 4.8   | 1.72  | 7.11  | 1.34   | 12.98      | 14.22   | 31.36     | 32.38     |
| 2005                                         | 35.46 | 33.42   | 22.24 | 7.78  | 4.8   | 1.72  | 0     | 0.32   | 3.76       | 11.59   | 13.6      | 37.58     |
| 2006                                         | 32.44 | 28.67   | 29.56 | 6.77  | 4.8   | 3.15  | 0     | 0.58   | 6.91       | 6.32    | 18.03     | 32.03     |
| 2007                                         | 30.26 | 24.92   | 16.78 | 8.83  | 4.53  | 1.72  | 7.17  | 0.32   | 6.19       | 10.61   | 13.98     | 35.75     |
| 2008                                         | 29.25 | 27.63   | 16.55 | 2.61  | 5.99  | 1.61  | 0     | 0.32   | 3.07       | 13.96   | 6.61      | 32.6      |
| 2009                                         | 30.44 | 27.53   | 17.18 | 6.86  | 6.73  | 1.72  | 0.67  | 0.32   | 9.6        | 10.53   | 17.88     | 37.48     |
| 2010                                         | 28.73 | 42.79   | 27.29 | 8.18  | 7.87  | 1.72  | 2.73  | 0.32   | 6.65       | 13.95   | 13.45     | 37.48     |
| 2011                                         | 28.75 | 25.18   | 24.37 | 6.68  | 7.36  | 3.54  | 0     | 0.44   | 10.33      | 13.17   | 15.36     | 37.56     |
| 2012                                         | 28.83 | 24.84   | 29.07 | 6.77  | 13.67 | 1.72  | 3.16  | 0.32   | 15.92      | 14.39   | 17.61     | 36.54     |
| 2013                                         | 31.07 | 33.47   | 17.88 | 12.14 | 5.47  | 1.78  | 3.09  | 0.2    | 6.65       | 13.39   | 16.5      | 33.08     |
| 2014                                         | 33.69 | 28.26   | 18.67 | 10.22 | 6.28  | 1.72  | 1.58  | 0.71   | 17.75      | 11.28   | 12.42     | 36.71     |
| 2015                                         | 30.26 | 30.14   | 33.23 | 6.74  | 4.83  | 1.72  | 1.84  | 0.5    | 5.76       | 13.39   | 9.98      | 38.64     |
| 2016                                         | 30.26 | 29.07   | 29.46 | 6.56  | 4.01  | 3.53  | 0.8   | 0.56   | 4.97       | 10.3    | 11.63     | 48.73     |
| 2017                                         | 25.66 | 32.63   | 41.23 | 26.11 | 7.67  | 0.08  | 8.74  | 0.4    | 17.17      | 19.14   | 12.82     | 39.1      |
| 2018                                         | 34.56 | 29.99   | 24.78 | 14.72 | 0     | 0.2   | 0.2   | 1.2    | 3.8        | 10.6    | 7.7       | 13.9      |
| 2019                                         | 33.02 | 25.42   | 41.1  | 18.9  | 11.9  | 0.8   | 5.4   | 1      | 4.8        | 10.2    | 30.2      | 48.4      |
| 2020                                         | 39.6  | 30.6    | 20.4  | 15.2  | 5.6   | 0.4   | 0     | 0      | 8.6        | 11.8    | 11.2      | 34.8      |
| 2021                                         | 24.6  | 20.8    | 30    | 12    | 5.6   | 5.8   | 2     | 0      | 21.6       | 10.2    | 23.4      | 32.69     |

Nota: En la tabla 36 se aprecia las precipitaciones máximas en la estación Visca Visca, con datos completados

**Tabla 37.** *Precipitaciones promedio estación Marca Cunka*

| PRECIPITACIONES PROMEDIO ESTACION MARCA CUNKA |        |         |        |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
|-----------------------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| AÑO                                           | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 2001                                          | 203    | 223.02  | 311.98 | 49.82 | 13.61 | 0     | 1.39  | 0.27   | 5.08       | 41.09   | 45.78     | 80.13     |
| 2002                                          | 195.81 | 199.09  | 133.02 | 42.52 | 12.35 | 17.81 | 11.7  | 0.27   | 50.18      | 78.42   | 57.94     | 103.35    |
| 2003                                          | 203.51 | 195.31  | 189.76 | 53.67 | 9.2   | 8.66  | 1.39  | 10.88  | 11.36      | 47.19   | 40.38     | 110.15    |
| 2004                                          | 201.28 | 172.93  | 135.57 | 39.73 | 9.2   | 0     | 32.98 | 14.03  | 19.3       | 69.92   | 85.4      | 145.73    |
| 2005                                          | 198.55 | 151.01  | 185.9  | 51.29 | 9.2   | 0     | 1.39  | 0.27   | 9.12       | 68.14   | 56.2      | 141.81    |
| 2006                                          | 208.41 | 212.34  | 158    | 93.14 | 9.2   | 9.5   | 1.39  | 4.97   | 15.48      | 74.98   | 69.32     | 135.76    |
| 2007                                          | 202.1  | 142.49  | 185.07 | 53.02 | 10.77 | 0     | 8.35  | 0.27   | 0          | 39.43   | 47.81     | 166.26    |
| 2008                                          | 200.41 | 154.71  | 111.91 | 19.37 | 11.11 | 11.25 | 1.39  | 0.27   | 11.36      | 112.56  | 37.89     | 148.53    |
| 2009                                          | 182.03 | 175.28  | 135.81 | 66.82 | 9.01  | 0     | 5.68  | 0.27   | 0          | 40.96   | 85.84     | 104.64    |
| 2010                                          | 203.45 | 194.8   | 153.92 | 75.44 | 28.73 | 0     | 2.73  | 0.27   | 0          | 59.31   | 49.11     | 147.05    |
| 2011                                          | 205.64 | 208.04  | 222.96 | 89.22 | 14.1  | 0     | 6.89  | 21.53  | 86.72      | 47.83   | 58.01     | 119.08    |
| 2012                                          | 205.6  | 275.16  | 283.73 | 93.97 | 18.86 | 0     | 3.08  | 0.27   | 11.75      | 68.37   | 54.5      | 133.39    |
| 2013                                          | 206.32 | 243.53  | 161.65 | 55.86 | 10.34 | 36.13 | 4.26  | 13.29  | 0.66       | 49.89   | 48.99     | 172.73    |
| 2014                                          | 190.6  | 142.17  | 143.39 | 48.88 | 9.58  | 0     | 2.37  | 2.65   | 80.06      | 105.32  | 45.5      | 163.16    |
| 2015                                          | 191.35 | 195.9   | 217.85 | 64.46 | 12.61 | 0     | 6.62  | 14.13  | 0          | 54.93   | 52.17     | 80.76     |
| 2016                                          | 160.86 | 228.98  | 151.79 | 58.86 | 10.58 | 12.76 | 7.25  | 9.96   | 1.91       | 68.46   | 38.62     | 82.03     |
| 2017                                          | 222.4  | 183.9   | 309.85 | 82.5  | 28.3  | 0     | 7.3   | 0.9    | 65.3       | 86.7    | 58.7      | 137.3     |
| 2018                                          | 171.6  | 214.1   | 159.6  | 39.7  | 10.2  | 24.5  | 20.4  | 28     | 6.4        | 58.2    | 54.9      | 55.2      |
| 2019                                          | 186.7  | 195.5   | 185.8  | 57.8  | 12.9  | 0.7   | 6.7   | 0.3    | 4.2        | 39.5    | 70.6      | 134.6     |
| 2020                                          | 205.7  | 253     | 166.2  | 42.7  | 33.5  | 1.6   | 0     | 0      | 23.5       | 93.9    | 21.1      | 214       |
| 2021                                          | 227.7  | 153     | 252.7  | 46.8  | 5.7   | 1     | 0.3   | 1.1    | 54         | 81.3    | 100.7     | 128.5     |

Nota: En la tabla 37 se aprecia la precipitación promedio en la estación Marca Cunka, con datos completados

**Tabla 38.** *Precipitaciones máximas estación Marca Cunka*

| PRECIPITACIONES MAXIMAS MARCA CUNKA |       |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
|-------------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| AÑO                                 | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 2001                                | 16.73 | 27.12   | 29    | 12.13 | 10.25 | 1.08  | 0.17  | 0.24   | 16.14      | 0       | 8.5       | 23.87     |
| 2002                                | 18.7  | 27.68   | 32.39 | 11.92 | 8.76  | 15.37 | 6.79  | 0.24   | 14.13      | 14.16   | 11.43     | 23.3      |
| 2003                                | 18.3  | 24.78   | 23.47 | 12.18 | 4.38  | 6.59  | 0.17  | 4.35   | 16.02      | 18.94   | 14.5      | 17.6      |
| 2004                                | 23.58 | 24.51   | 25.62 | 11.66 | 4.38  | 1.08  | 14.53 | 8.67   | 8.11       | 24.16   | 26.13     | 28.86     |
| 2005                                | 37.29 | 16.45   | 23.35 | 10.85 | 4.38  | 1.08  | 0.17  | 0.24   | 12.76      | 27.43   | 11.79     | 19.17     |
| 2006                                | 41.05 | 27.53   | 32.34 | 11.92 | 4.38  | 8.47  | 0.17  | 1.83   | 14.56      | 12.63   | 14.24     | 28.33     |
| 2007                                | 16.38 | 26.96   | 20.4  | 13.16 | 5.4   | 1.08  | 4.97  | 0.24   | 9.47       | 9.52    | 11.96     | 29.38     |
| 2008                                | 19.03 | 25.52   | 20.28 | 9.65  | 9.54  | 2.24  | 0.17  | 0.24   | 11.57      | 10.81   | 7.98      | 27.3      |
| 2009                                | 17.29 | 18.86   | 20.5  | 9.78  | 5.08  | 1.08  | 2.07  | 0.24   | 21.04      | 27.22   | 14.35     | 20.06     |
| 2010                                | 20.91 | 36.93   | 29    | 9.51  | 11.87 | 1.08  | 0     | 0.24   | 9.41       | 11.58   | 15.79     | 20.13     |
| 2011                                | 20.61 | 26.82   | 25.34 | 9.79  | 7.29  | 3     | 3.66  | 5.64   | 12.66      | 21.47   | 14.64     | 19.32     |
| 2012                                | 20.17 | 27      | 31.97 | 9.54  | 4.46  | 1.08  | 0     | 0.24   | 15.61      | 17.78   | 13.75     | 23.42     |
| 2013                                | 27.81 | 27.38   | 20.73 | 12.04 | 5.23  | 18.63 | 0.49  | 6.47   | 9.41       | 24.53   | 13.14     | 26.83     |
| 2014                                | 32.22 | 25.12   | 21.05 | 10.79 | 5.13  | 1.08  | 0     | 1.61   | 8.4        | 18.71   | 11.25     | 23.13     |
| 2015                                | 26.29 | 21.55   | 38.06 | 9.57  | 11.46 | 1.08  | 1.34  | 3.77   | 9.55       | 37.41   | 10.1      | 13.35     |
| 2016                                | 16.38 | 24.51   | 30.24 | 8.8   | 6.11  | 12.17 | 4.02  | 4.35   | 9.75       | 18.71   | 10.88     | 7.69      |
| 2017                                | 21.1  | 24.14   | 48.37 | 8.9   | 5.8   | 0     | 6.8   | 0.4    | 10.5       | 34.4    | 10.1      | 34.5      |
| 2018                                | 30.6  | 30.6    | 19.2  | 10.3  | 5.6   | 11.3  | 11.5  | 11.6   | 2.9        | 10.4    | 14.9      | 8.6       |
| 2019                                | 50.1  | 17.2    | 37.4  | 12.2  | 9.6   | 0.5   | 2.5   | 0.2    | 1.5        | 10.7    | 23.5      | 27.7      |
| 2020                                | 38    | 27.2    | 22.6  | 14.2  | 17    | 1.4   | 0     | 0      | 8.2        | 17.7    | 8.6       | 31.5      |
| 2021                                | 29.5  | 26.4    | 34.3  | 11.5  | 3.2   | 0.9   | 0.3   | 1.1    | 31.2       | 22.3    | 15.7      | 22.8      |

: En la tabla 38 se aprecia las precipitaciones máximas en la estación Marca Cunka, con datos completados

4.1.3.3.1.1. *Polígono de Thiessen*. Una vez realizada la completación de datos en las estaciones, realizaremos el polígono de Thiessen.

A través del software AutoCAD se hallarán cada una de las áreas de cada estación del polígono triangulando en las estaciones meteorológicas, trazando mediatrices de cada lado de los triángulos formados. El área que se intercepta con el polígono con el área de la cuenca; forma su área del total de las 442 ha de cada estación, y a su vez se hará los porcentajes de cada uno mediante una simple regla de tres.

**Figura 44.** Polígono de Thiessen



Nota: En la figura 44, se observa el polígono de Thiessen el cual fue trazado mediante el software AutoCAD.

**Tabla 39.** Precipitación promedio con el método del polígono de Thiessen

| PRECIPITACION PROMEDIO CON EL METODO DEL POLIGONO DE THIESSEN |                           |          |            |      |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|----------|------------|------|
| ORDEN                                                         | ESTACIONES METEREOLÓGICAS | AREA(HA) | PORCENTAJE | %    |
| 1                                                             | SANTO TOMAS CONVENCIONAL  | 148.042  | 0.335      | 33.5 |
| 2                                                             | MARCA CUNKA               | 141.63   | 0.32       | 32   |
| 3                                                             | SANTO TOMAS AUTOMATICA    | 113.165  | 0.256      | 25.6 |
| 4                                                             | VISCA VISCA               | 39.261   | 0.089      | 8.9  |
| <b>RESULTADOS/SUMATORIA</b>                                   |                           | 442.098  | 1          | 100  |

Nota: En la tabla 39 se aprecia la precipitación obtenida con el método del polígono de Thyssen

**Tabla 40. Metodología Polígono de Thiessen**

| METODOLOGIA POLIGONO DE THIESSEN        |        |         |        |       |       |       |       |        |            |         |           |           |                     |
|-----------------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|---------------------|
| ESTACIONES/MESES                        | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PRECIP.<br>PROMEDIO |
| <b>SANTO TOMAS<br/>CONVENCIONAL</b>     | 174.45 | 178.71  | 168.07 | 57.92 | 9.87  | 1.80  | 5.18  | 7.57   | 17.56      | 55.26   | 66.92     | 147.00    | 74.19               |
| <b>MARCA CUNKA</b>                      | 198.72 | 195.92  | 191.70 | 58.36 | 13.76 | 5.90  | 6.36  | 5.90   | 21.73      | 66.02   | 56.16     | 128.77    | 79.11               |
| <b>SANTO TOMAS<br/>AUTOMÁTICA</b>       | 214.89 | 202.35  | 176.19 | 49.86 | 15.04 | 2.75  | 9.98  | 6.88   | 15.23      | 64.10   | 80.62     | 167.99    | 83.82               |
| <b>VISCA VISCA</b>                      | 235.71 | 216.88  | 208.98 | 75.90 | 13.99 | 2.34  | 5.91  | 1.68   | 18.97      | 61.63   | 57.26     | 177.02    | 89.69               |
| <b>APLICANDO PESOS<br/>POR THIESSEN</b> | 198.02 | 193.67  | 181.35 | 57.60 | 12.81 | 3.40  | 6.85  | 6.33   | 18.42      | 61.53   | 66.13     | 149.21    | 79.61               |

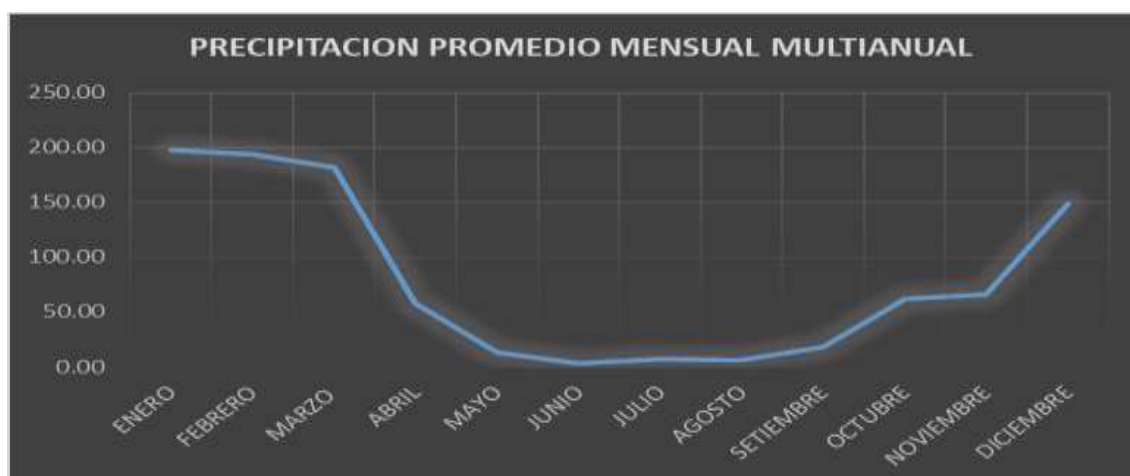
Nota: En la tabla 40 se aprecia la metodología del polígono de Thyssen aplicada para cada estación meteorológica para todos los meses del año.

**Tabla 41. Promedios del polígono**

| MESES DEL<br>AÑO                                             | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PRECIP.<br>PROMEDIO |
|--------------------------------------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|---------------------|
| <b>PRECIPITACIÓN<br/>PROMEDIO<br/>MULTIANUAL<br/>MENSUAL</b> | 198.02 | 193.67  | 181.35 | 57.60 | 12.81 | 3.40  | 6.85  | 6.33   | 18.42      | 61.53   | 66.13     | 149.21    | 79.61               |

Nota: En la tabla 41 se aprecia los promedios del polígono de Thyssen en cuanto a la precipitación promedio multianual mensual

**Figura 45.** Precipitación promedio mensual multianual



Nota: En la figura 45, se observa el gráfico representativo de la precipitación promedio mensual multianual

**Figura 46.** Histograma de promedios



Nota: En la figura 46, se observa el histograma de promedios por Thyssen de precipitaciones mensual multianual

**4.1.3.3.1.2. Oferta Hídrica.** La oferta hídrica neta se calcula con el área de la cuenca y la precipitación mensual en m. multiplicada por 12 para determinar la oferta hídrica que produce la lluvia en un año.

**Tabla 42. Oferta Hídrica neta**

| Oferta Hídrica             |          |    |            |
|----------------------------|----------|----|------------|
| Equivalencia               |          |    |            |
| Área cuenca (Km2)          | 4.420986 | m2 | 4420986    |
| Precipitación mensual (mm) | 79.61    | m  | 0.0796     |
| Total (m3)                 |          |    | 4223444.76 |

Nota: En la tabla 42 se puede apreciar cuanto es la oferta hídrica neta, en este caso es de 4223444.76 m3.

#### 4.1.3.3.1.3. Infiltración.

Se escoge un número de curva base adecuado (86)

Se puede adoptar la relación empírica  $I_a = 0.2 \times S$  con base en esto, se tiene:

$$P_e = Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (\text{Ec. 4.14})$$

Se procede a realizar los cálculos respectivos para cada mes, asimismo se necesitará la ayuda de los cuadros o tablas descritos a continuación.

**Figura 47. Cuadro de números de Curva**

**Tabla B-5. Números de curva de escorrentía para usos selectos de suelo agrícola, urbana y suburbana (Condiciones antecedentes de humedad AMC (II), la =0,2 S)**

| Descripción del uso de la tierra | Detalles de la descripción                     | Tratamiento o uso                | Condición hidrológico | Grupo hidrológico de suelo |    |    |    |
|----------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|----|----|----|
|                                  |                                                |                                  |                       | A                          | B  | C  | D  |
| Tierra cultivada                 | baldío                                         |                                  | no aplicable          | 77                         | 86 | 91 | 94 |
|                                  | general                                        | sin tratamientos de conservación | no disponible         | 72                         | 81 | 88 | 91 |
|                                  | cultivos en filas                              | filas rectas                     | pobre                 | 72                         | 81 | 88 | 91 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 67                         | 78 | 85 | 88 |
|                                  |                                                | en contorno                      | pobre                 | 70                         | 79 | 84 | 88 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 65                         | 75 | 82 | 86 |
|                                  |                                                | en contorno y terraza            | pobre                 | 66                         | 74 | 80 | 82 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 62                         | 71 | 78 | 81 |
|                                  | general                                        | con tratamientos de conservación | no disponible         | 62                         | 71 | 78 | 81 |
|                                  | granos pequeños                                | filas rectas                     | pobre                 | 65                         | 76 | 84 | 88 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 63                         | 75 | 83 | 87 |
|                                  |                                                | en contorno                      | pobre                 | 63                         | 74 | 82 | 85 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 61                         | 73 | 81 | 84 |
|                                  |                                                | en contorno y terraza            | pobre                 | 61                         | 72 | 79 | 82 |
|                                  | grano cerrado                                  | filas rectas                     | pobre                 | 59                         | 70 | 78 | 81 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 60                         | 77 | 85 | 89 |
|                                  | grano cerrado: legumbres o pradera de rotación | filas rectas                     | pobre                 | 58                         | 72 | 81 | 85 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 64                         | 75 | 83 | 86 |
|                                  |                                                | en contorno                      | pobre                 | 55                         | 69 | 78 | 83 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 63                         | 73 | 80 | 83 |
|                                  |                                                | en contorno y terraza            | pobre                 | 51                         | 67 | 76 | 80 |
| Pastizales o campo de animales   |                                                | en contorno                      | pobre                 | 68                         | 79 | 86 | 89 |
|                                  |                                                |                                  | aceptable             | 49                         | 69 | 79 | 84 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 39                         | 61 | 74 | 80 |
|                                  |                                                |                                  | pobre                 | 47                         | 67 | 81 | 88 |
|                                  |                                                |                                  | aceptable             | 25                         | 59 | 75 | 83 |
|                                  |                                                |                                  | bueno                 | 6                          | 35 | 70 | 79 |

Nota: En la figura 47, se aprecia el cuadro de número de curva con el que se determinará la infiltración

**Tabla 43. Cálculo en condiciones húmedas III**

| CÁLCULOS                                                                                                                                                               |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| CALCULADO EN CONDICIONES HÚMEDAS III                                                                                                                                   |                                        |
| <b>Los meses de octubre a abril llueve considerablemente, por ende, en estos meses se aplicará las condiciones húmedas</b>                                             |                                        |
| Las condiciones hidrológicas para la infiltración son pobres debido al constante pastoreo y casi la mitad, pero menor al 50 % de su superficie cubierta de vegetación. |                                        |
| CN=                                                                                                                                                                    | $(23 \cdot 86) / (10 + 0.13 \cdot 86)$ |
| CN=                                                                                                                                                                    | 93.39 Cn de tabla=86                   |
| S=                                                                                                                                                                     | $1000 / 93.39 - 10$                    |
| S =                                                                                                                                                                    | 0.71 plg                               |
| S =                                                                                                                                                                    | 17.98 mm                               |

Nota: En la tabla 43 se aprecia el cálculo correspondiente en condiciones húmedas III para el cálculo de la infiltración

Los meses menos lluviosos o casi nulos (mayo a septiembre) se toma como una condición normal II

**Tabla 44. Resumen de infiltraciones calculados por mes**

| Mes       | Infiltración | Condición |
|-----------|--------------|-----------|
| Enero     | 22.81        | 3         |
| Febrero   | 20.20        |           |
| Marzo     | 19.97        |           |
| Mayo      | 12.38        | 2         |
| Junio     | 2.72         |           |
| Julio     | 6.80         |           |
| Agosto    | 6.24         |           |
| Setiembre | 16.39        |           |
| Octubre   | 17.42        | 3         |
| Noviembre | 17.69        |           |
| Diciembre | 21.52        |           |

Nota: En la tabla 45 se puede observar el resumen de infiltraciones calculados por mes, donde aplica una condición 3 para los meses de enero, febrero, marzo, abril, condición tipo 2 para los meses mayo, junio, julio, agosto y septiembre, finalmente condición tipo 3 para meses octubre, noviembre y diciembre.

**4.1.3.3.2. Temperatura.** La temperatura brindada por Senamhi de 21 años, de la estación Santo Tomás Convencional. Se muestra una tabla con temperaturas promedio.

**Tabla 45.** *Temperatura promedio del 2001 al 2021*

| Año         | Temperatura media mensual en (C°) |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           | Temperatura<br>P. multianual | Mínimo m.<br>multianual | Máximo m.<br>multianual |
|-------------|-----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|             | Enero                             | Febrero | Marzo | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |                              |                         |                         |
| <b>2001</b> | 14.60                             | 14.90   | 14.40 | 13.60 | 12.80 | 10.80 | 10.50 | 10.80  | 13.60      | 15.00   | 15.80     | 16.40     | <b>13.60</b>                 | <b>10.5</b>             | <b>16.4</b>             |
| <b>2002</b> | 14.90                             | 18.08   | 17.97 | 14.36 | 12.41 | 11.23 | 9.95  | 11.69  | 13.41      | 14.59   | 15.50     | 15.59     | <b>14.14</b>                 | <b>9.945</b>            | <b>18.075</b>           |
| <b>2003</b> | 14.92                             | 14.39   | 14.87 | 13.39 | 12.24 | 10.82 | 11.17 | 11.92  | 12.77      | 14.34   | 14.80     | 15.21     | <b>13.40</b>                 | <b>10.82</b>            | <b>15.205</b>           |
| <b>2004</b> | 14.37                             | 14.82   | 14.11 | 13.47 | 11.03 | 9.85  | 9.58  | 11.11  | 13.65      | 14.60   | 14.82     | 15.31     | <b>13.06</b>                 | <b>9.575</b>            | <b>15.31</b>            |
| <b>2005</b> | 15.25                             | 15.37   | 15.41 | 14.09 | 11.59 | 9.35  | 10.42 | 10.89  | 12.55      | 14.15   | 14.64     | 15.00     | <b>13.22</b>                 | <b>9.345</b>            | <b>15.405</b>           |
| <b>2006</b> | 14.47                             | 14.36   | 14.70 | 13.96 | 10.72 | 10.17 | 9.31  | 11.60  | 11.79      | 13.97   | 15.14     | 15.28     | <b>12.95</b>                 | <b>9.31</b>             | <b>15.275</b>           |
| <b>2007</b> | 15.28                             | 15.07   | 14.68 | 14.39 | 11.75 | 10.47 | 9.96  | 11.52  | 13.30      | 15.30   | 16.10     | 14.42     | <b>13.52</b>                 | <b>9.96</b>             | <b>16.1</b>             |
| <b>2008</b> | 14.87                             | 14.88   | 14.80 | 13.78 | 11.79 | 10.42 | 10.32 | 11.73  | 13.98      | 15.18   | 16.05     | 15.31     | <b>13.59</b>                 | <b>10.32</b>            | <b>16.05</b>            |
| <b>2009</b> | 15.41                             | 14.75   | 14.79 | 14.18 | 12.01 | 9.52  | 10.40 | 11.69  | 14.66      | 16.59   | 16.48     | 15.71     | <b>13.85</b>                 | <b>9.52</b>             | <b>16.59</b>            |
| <b>2010</b> | 15.07                             | 14.83   | 15.17 | 14.21 | 12.22 | 11.04 | 10.41 | 12.14  | 14.50      | 15.64   | 16.52     | 14.36     | <b>13.84</b>                 | <b>10.41</b>            | <b>16.52</b>            |
| <b>2011</b> | 14.60                             | 13.60   | 14.00 | 13.50 | 11.50 | 10.10 | 10.00 | 11.40  | 13.40      | 15.10   | 16.10     | 14.80     | <b>13.18</b>                 | <b>10</b>               | <b>16.1</b>             |
| <b>2012</b> | 14.30                             | 14.10   | 14.10 | 14.20 | 11.10 | 10.00 | 9.80  | 10.60  | 14.00      | 15.36   | 16.44     | 14.90     | <b>13.24</b>                 | <b>9.8</b>              | <b>16.44</b>            |
| <b>2013</b> | 14.90                             | 15.00   | 14.90 | 13.20 | 12.70 | 10.50 | 10.20 | 11.10  | 12.10      | 15.10   | 15.80     | 14.90     | <b>13.37</b>                 | <b>10.2</b>             | <b>15.8</b>             |
| <b>2014</b> | 14.90                             | 15.30   | 15.30 | 14.20 | 12.10 | 11.50 | 10.30 | 11.84  | 14.28      | 15.36   | 16.44     | 15.40     | <b>13.91</b>                 | <b>10.3</b>             | <b>16.44</b>            |
| <b>2015</b> | 14.60                             | 14.70   | 14.50 | 13.60 | 12.30 | 11.10 | 10.70 | 12.10  | 14.60      | 15.70   | 17.10     | 15.40     | <b>13.87</b>                 | <b>10.7</b>             | <b>17.1</b>             |
| <b>2016</b> | 16.40                             | 15.60   | 15.60 | 13.90 | 12.10 | 10.20 | 10.30 | 12.30  | 15.20      | 15.30   | 16.30     | 15.90     | <b>14.09</b>                 | <b>10.2</b>             | <b>16.4</b>             |
| <b>2017</b> | 14.90                             | 14.70   | 14.70 | 13.70 | 12.40 | 10.50 | 10.50 | 12.30  | 14.70      | 15.20   | 16.70     | 15.80     | <b>13.84</b>                 | <b>10.5</b>             | <b>16.7</b>             |
| <b>2018</b> | 14.40                             | 14.20   | 14.20 | 13.80 | 11.10 | 10.20 | 10.20 | 11.40  | 14.20      | 15.50   | 16.90     | 16.10     | <b>13.52</b>                 | <b>10.2</b>             | <b>16.9</b>             |
| <b>2019</b> | 15.60                             | 14.80   | 14.80 | 13.70 | 11.60 | 10.60 | 10.30 | 12.40  | 15.30      | 15.90   | 15.70     | 15.30     | <b>13.83</b>                 | <b>10.3</b>             | <b>15.9</b>             |
| <b>2020</b> | 14.90                             | 14.70   | 14.70 | 14.10 | 11.30 | 10.50 | 10.70 | 13.00  | 15.00      | 15.10   | 16.90     | 15.00     | <b>13.83</b>                 | <b>10.5</b>             | <b>16.9</b>             |
| <b>2021</b> | 14.64                             | 15.06   | 14.32 | 13.20 | 11.35 | 10.74 | 10.74 | 12.61  | 14.75      | 15.64   | 16.03     | 15.12     | <b>13.68</b>                 | <b>10.74</b>            | <b>16.03</b>            |

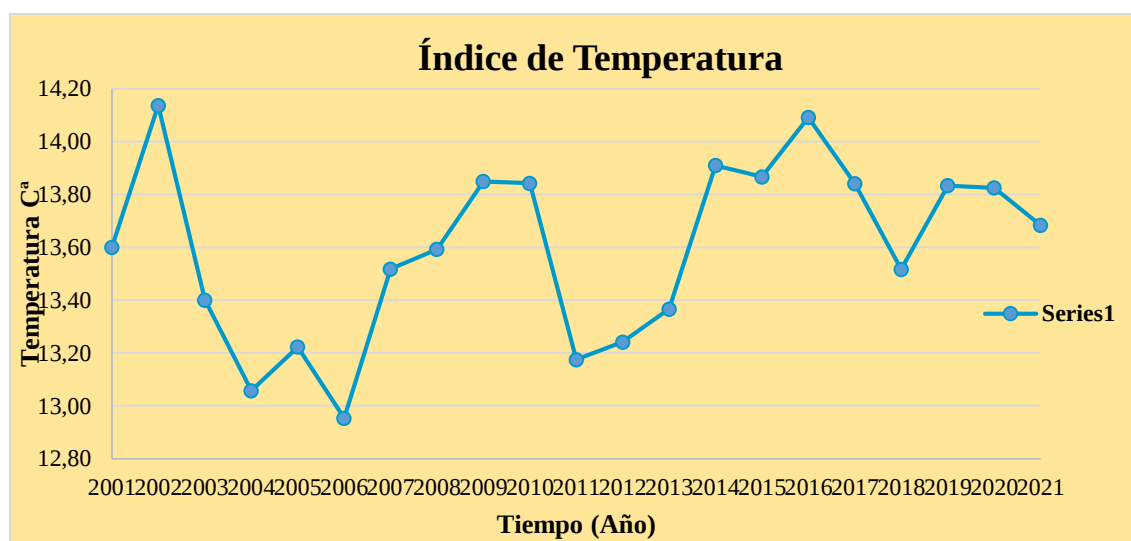
Nota: En la tabla 45 se aprecia las temperaturas medias mensuales dadas en los últimos 21 años, datos obtenidos del SENAMHI Cusco

**Tabla 46.** *Temperaturas promedio (Máxima y mínima)*

|                                    |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                                    |              |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|--------------|
| <b>Temperatura promedio anual</b>  | <b>14.92</b> | <b>14.91</b> | <b>14.86</b> | <b>13.83</b> | <b>11.81</b> | <b>10.46</b> | <b>10.27</b> | <b>11.72</b> | <b>13.89</b> | <b>15.17</b> | <b>16.01</b> | <b>15.29</b> | <b>13.60</b> |                                    |              |
| <b>Temperatura máxima promedio</b> | 16.4         | 18.08        | 17.97        | 14.39        | 12.8         | 11.5         | 11.17        | 13           | 15.3         | 16.59        | 17.1         | 16.4         |              | <b>Promedio mensual multianual</b> | <b>13.60</b> |
| <b>Temperatura mínima promedio</b> | 14.3         | 13.6         | 14           | 13.2         | 10.72        | 9.35         | 9.31         | 10.6         | 11.79        | 13.97        | 14.64        | 14.36        |              |                                    |              |

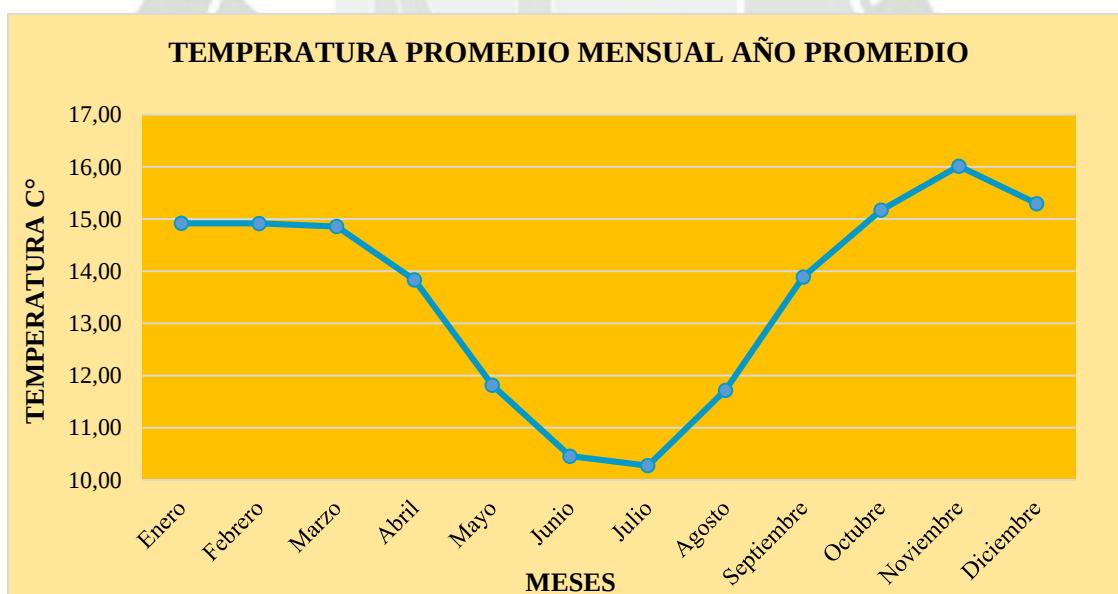
Nota: En la tabla 46 se aprecia las temperaturas máximas y mínimas mensuales dadas en los últimos 21 años

**Figura 48.** Índice de temperatura



Nota: En la figura 48, se aprecia el índice de temperatura dado en los últimos 21 años, datos suministrados por SENAMHI Cusco

**Figura 49.** Temperatura promedio mensual año promedio



Nota: En la figura 49, se aprecia la temperatura promedio mensual año promedio, datos suministrados por SENAMHI Cusco

Se usó método de THORWAITE para la ETP. La explicación detallada esta la teoría el mes de enero sus cálculos detallados y un cuadro resumen de todos los meses.

**Tabla 47. Método Thorwaite ETP**

| Enero                   |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>índice de calor</b>  | $(\text{temperatura}/5)^{1.514}$<br>$(14.92/5)^{1.515}$<br>5.245598051                                                                                                                                                                                            |
| <b>EXP</b>              | $675 \cdot (10^{-9}) \cdot \text{ICT}^3 - 771 \cdot (10^{-7}) \cdot \text{ICT}^2 + 1792 \cdot (10^{-5}) \cdot \text{ICT} + 0.49239$<br>$675 \cdot (10^{-9}) \cdot 55^3 - 771 \cdot (10^{-7}) \cdot 55^2 + 1792 \cdot (10^{-5}) \cdot 55 + 0.49239$<br>1.357075625 |
| <b>ETO sin corregir</b> | $16 \cdot ((10 \cdot \text{temperatura}) / \text{ICT})^{\text{EXP}}$<br>$16 \cdot ((10 \cdot 14.92) / 55)^{1.35707625}$<br>61.98479334                                                                                                                            |
| <b>Eto corregido</b>    | $\text{ETOsc} \cdot (\text{horas de sol}/12) \cdot (\text{días}/30)$<br>$61.98479334 \cdot (5.4/12) \cdot (31/30)$<br>28.8229289                                                                                                                                  |
| <b>Evaporación</b>      | precipitación -infiltración - ETOco<br>192.02-22.081-28.8229289<br>146.387071                                                                                                                                                                                     |

Nota: En la tabla 47 se puede apreciar THORWAITE ETP la explicación detallada esta la teoría del mes de enero, lo cual se hará repetitivo para los meses siguientes.

**Tabla 48.** *Thornwaite calculado para todos los meses*

| Meses             | Temperaturas<br>medias                   | Índice de<br>calor<br>mensual<br>(i) | ETO<br>Mensual<br>sin corregir<br>(mm/mes) | Días del<br>mes | Nº<br>Horas<br>luz/día | ETO<br>Mensual<br>corregido<br>(mm/mes) | PRECIPITACIONES<br>PROMEDIO MENSUALES<br>CORREGIDAS POR<br>INFILTRACION | PRECIPITACIONES<br>EFFECTIVAS | EVAPORACION<br>REAL |
|-------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| <b>Enero</b>      | 14.92                                    | <b>5.23</b>                          | 61.97                                      | 31              | 5.4                    | <b>28.82</b>                            | 175.21                                                                  | 146.39                        | 28.82               |
| <b>Febrero</b>    | 14.91                                    | <b>5.23</b>                          | 61.95                                      | 28              | 4.6                    | <b>22.16</b>                            | 173.47                                                                  | 151.31                        | 22.16               |
| <b>Marzo</b>      | 14.86                                    | <b>5.20</b>                          | 61.63                                      | 31              | 5.4                    | <b>28.66</b>                            | 161.38                                                                  | 132.72                        | 28.66               |
| <b>Abril</b>      | 13.83                                    | <b>4.67</b>                          | 55.94                                      | 30              | 6.9                    | <b>32.17</b>                            | 40.53                                                                   | 8.36                          | 32.17               |
| <b>Mayo</b>       | 11.81                                    | <b>3.68</b>                          | 45.16                                      | 31              | 7.5                    | <b>29.17</b>                            | 0.43                                                                    | 0.00                          | 0.43                |
| <b>Junio</b>      | 10.46                                    | <b>3.06</b>                          | 38.27                                      | 30              | 8.0                    | <b>25.51</b>                            | 0.68                                                                    | 0.00                          | 0.68                |
| <b>Julio</b>      | 10.27                                    | <b>2.98</b>                          | 37.36                                      | 31              | 7.8                    | <b>25.09</b>                            | 0.05                                                                    | 0.00                          | 0.05                |
| <b>Agosto</b>     | 11.72                                    | <b>3.63</b>                          | 44.67                                      | 31              | 7.7                    | <b>29.62</b>                            | 0.09                                                                    | 0.00                          | 0.09                |
| <b>Septiembre</b> | 13.89                                    | <b>4.70</b>                          | 56.26                                      | 30              | 6.9                    | <b>32.35</b>                            | 2.04                                                                    | 0.00                          | 2.04                |
| <b>Octubre</b>    | 15.17                                    | <b>5.37</b>                          | 63.40                                      | 31              | 6.5                    | <b>35.49</b>                            | 44.11                                                                   | 8.62                          | 35.49               |
| <b>Noviembre</b>  | 16.01                                    | <b>5.82</b>                          | 68.22                                      | 30              | 6.3                    | <b>35.82</b>                            | 48.44                                                                   | 12.62                         | 2.00                |
| <b>Diciembre</b>  | 15.29                                    | <b>5.43</b>                          | 64.11                                      | 31              | 5.0                    | <b>27.60</b>                            | 127.69                                                                  | 100.09                        | 27.60               |
|                   | <b>Índice de<br/>Calor anual<br/>(i)</b> | <b>55.00</b>                         |                                            | <b>1.36</b>     | 6.5                    | <b>29.37</b>                            | <b>774.12</b>                                                           | <b>560.11</b>                 |                     |

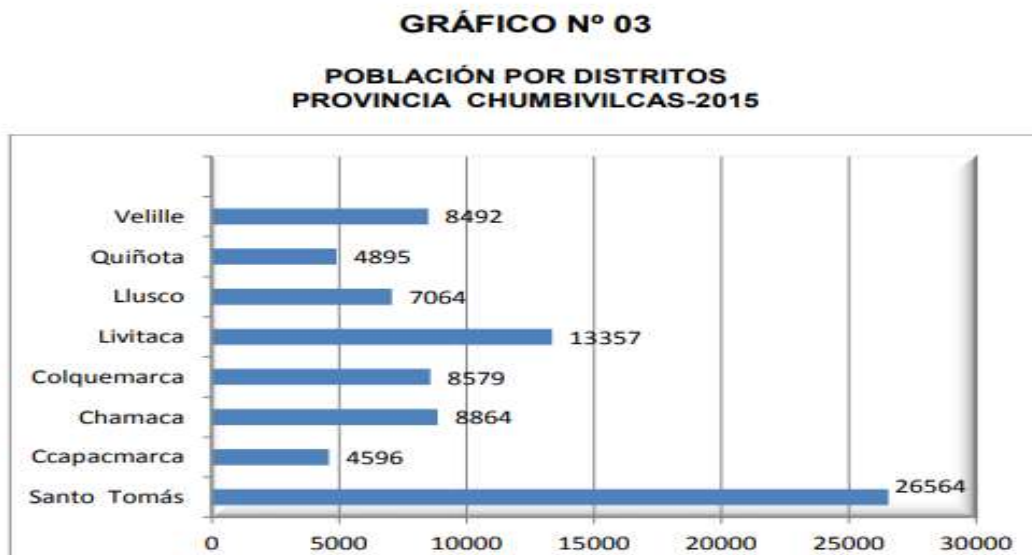
Nota: En la tabla 48 se puede apreciar los resultados obtenidos en cuanto a la evapotranspiración mensual, la cual fue calculado mediante el método de Thornwaite

#### 4.1.3.3.3. Demanda Hídrica.

Consiste en la demanda hídrica poblacional incluida la demanda agrícola.

**Figura 50.** Gráfico de población por distritos en Chumbivilcas

#### . POBLACIÓN POR NIVELES (DISTRITOS).



Nota: En la figura 50, se observa el gráfico de población por distritos en Chumbivilcas, datos obtenidos de la Dirección de Estadística DIRESA Cusco.

4.1.3.3.3.1. *Cálculo de la tasa de crecimiento exponencial poblacional.* El índice de crecimiento se determinó comparando el año 2015 con el año 2020 de los cuales se tienen los siguientes datos:

**Figura 51.** Gráfico de la población de la DIRESA Cusco, por edades

| POBLACION DE LA DIRESA CUSCO, POR EDADES PUNTUALES<br>DISTRIBUIDO POR DISTRITOS, AÑO 2020 |               |              |             |             |            |             |            |             |            |             |             |             |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                                                           | TOTAL         | TOTAL M      | 0_M         | 1_M         | 2_M        | 3_M         | 4_M        | 5_M         | 6_M        | 7_M         | 8_M         | 9_M         | 10_M        |
| <b>CANAS</b>                                                                              | <b>40420</b>  | <b>20250</b> | <b>385</b>  | <b>430</b>  | <b>434</b> | <b>471</b>  | <b>497</b> | <b>459</b>  | <b>456</b> | <b>443</b>  | <b>445</b>  | <b>437</b>  | <b>487</b>  |
| KUNTURKANKI                                                                               | 5904          | 2977         | 44          | 57          | 52         | 62          | 72         | 64          | 62         | 70          | 63          | 66          | 72          |
| LANGUI                                                                                    | 2521          | 1278         | 20          | 25          | 26         | 21          | 25         | 25          | 24         | 28          | 28          | 25          | 28          |
| LAYO                                                                                      | 6536          | 3234         | 57          | 64          | 68         | 86          | 89         | 85          | 78         | 73          | 74          | 78          | 74          |
| PAMPAMARCA                                                                                | 2057          | 1061         | 16          | 20          | 21         | 24          | 24         | 21          | 22         | 22          | 23          | 17          | 24          |
| QUEHUE                                                                                    | 3704          | 1927         | 37          | 46          | 43         | 47          | 51         | 47          | 42         | 43          | 49          | 44          | 46          |
| TUPAC AMARU                                                                               | 2940          | 1478         | 26          | 34          | 33         | 33          | 31         | 27          | 31         | 29          | 28          | 32          | 35          |
| YANAOCA                                                                                   | 10258         | 5029         | 115         | 108         | 119        | 110         | 125        | 105         | 110        | 102         | 104         | 105         | 133         |
| CHECCA                                                                                    | 6500          | 3266         | 70          | 76          | 72         | 88          | 80         | 85          | 87         | 76          | 76          | 70          | 75          |
| <b>CANCHIS</b>                                                                            | <b>105049</b> | <b>53784</b> | <b>1008</b> | <b>941</b>  | <b>935</b> | <b>1032</b> | <b>983</b> | <b>1023</b> | <b>922</b> | <b>1031</b> | <b>1015</b> | <b>1016</b> | <b>1185</b> |
| CHECACUPE                                                                                 | 5114          | 2601         | 46          | 45          | 45         | 52          | 48         | 45          | 51         | 49          | 52          | 54          | 62          |
| COMBAPATA                                                                                 | 5556          | 2882         | 56          | 51          | 51         | 52          | 53         | 50          | 42         | 49          | 50          | 58          | 61          |
| MARANGANI                                                                                 | 11517         | 5676         | 111         | 108         | 118        | 117         | 109        | 104         | 100        | 117         | 116         | 126         | 138         |
| PITUMARCA                                                                                 | 7736          | 3928         | 90          | 91          | 87         | 81          | 102        | 92          | 91         | 85          | 79          | 77          | 78          |
| SAN PABLO                                                                                 | 4781          | 2368         | 39          | 46          | 39         | 43          | 46         | 41          | 47         | 48          | 41          | 53          | 50          |
| SAN PEDRO                                                                                 | 2835          | 1424         | 18          | 18          | 16         | 13          | 18         | 16          | 17         | 19          | 22          | 22          | 28          |
| SICUANI                                                                                   | 61743         | 31969        | 594         | 537         | 530        | 630         | 564        | 633         | 531        | 617         | 605         | 579         | 720         |
| TINTA                                                                                     | 5767          | 2936         | 54          | 45          | 49         | 44          | 43         | 42          | 43         | 47          | 50          | 47          | 48          |
| <b>CHUMBIVILCAS</b>                                                                       | <b>84925</b>  | <b>43184</b> | <b>1009</b> | <b>1044</b> | <b>971</b> | <b>999</b>  | <b>963</b> | <b>924</b>  | <b>929</b> | <b>1025</b> | <b>1049</b> | <b>1061</b> | <b>1149</b> |
| CAPACMARCA                                                                                | 4723          | 2441         | 33          | 43          | 47         | 54          | 55         | 51          | 61         | 64          | 56          | 57          | 60          |
| CHAMACA                                                                                   | 9139          | 4684         | 119         | 112         | 118        | 114         | 114        | 84          | 94         | 88          | 113         | 107         | 125         |
| COLQUEMARCA                                                                               | 8800          | 4361         | 97          | 103         | 92         | 82          | 88         | 82          | 86         | 102         | 105         | 101         | 112         |
| LIVITACA                                                                                  | 13804         | 6935         | 188         | 204         | 195        | 167         | 163        | 160         | 166        | 179         | 173         | 165         | 195         |
| LLUSCO                                                                                    | 7268          | 3630         | 97          | 92          | 83         | 80          | 94         | 80          | 86         | 78          | 85          | 94          | 94          |
| QUIÑOTA                                                                                   | 5053          | 2573         | 78          | 70          | 65         | 70          | 71         | 58          | 70         | 62          | 61          | 68          | 71          |
| SANTO TOMAS                                                                               | 27403         | 14082        | 309         | 326         | 278        | 324         | 287        | 323         | 281        | 348         | 361         | 358         | 387         |
| VELILLE                                                                                   | 8735          | 4478         | 88          | 94          | 93         | 108         | 91         | 86          | 85         | 104         | 95          | 111         | 105         |

- Población Nominalmente Censada.  
- No se empadronó a la población del distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.  
Fuente : INEI - Censos Nacionales 2007 : XI de Población y VI de Vivienda

Nota: En la figura 51, se observa el gráfico de la población de la DIRESA Cusco por edades puntuales distribuidos por distritos para el año 2020, datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística e Informática

### Cálculo de la Población futura

Población 2015 = 26564

Población 2020= 27403

$$P_t = P_0 (1 + r)^t. \quad (\text{Ec. 4.15})$$

$$27403 = 26564(1 + r)^5$$

$$r = 0.006$$

**4.1.3.3.3.2. Cálculo de la población futura en base al índice de crecimiento poblacional.** La tasa de crecimiento es la tasa de natalidad menos la tasa de mortalidad y migraciones, se calcula la población futura a 20 años según normatividad, de acuerdo a

la Resolución Ministerial N.º 192-2018-Vivienda, que modifica y actualiza la norma de opciones tecnológicas para el sistema de abastecimiento de agua para el consumo humano en el ámbito rural 2018 para diseñar la represa con población futura. No obstante, como el tiempo de vida de la presa será de 50 años, la población futura quedará proyectada a la misma.

$$P_t = P_0 (1 + r)^t.$$

(Ec. 4.16)

$$P_t = 27403(1 + 0.006)^{50}$$

$$P_t = 36,958 \text{ habitantes}$$

**4.1.3.3.3. Cálculo de la dotación poblacional.** Primero se determinará la dotación en litros por habitante por día, nos basaremos en Resolución Ministerial N°173-2018-vivienda norma: guía de opciones tecnológicas para Sistema de abastecimiento de agua para consume humano y saneamiento en el ámbito rural que nos da la siguiente tabla.

**Figura 52.** Tabla de dotación de agua según opción de saneamiento

**Tabla 1:** Dotación de agua según opción de saneamiento

| REGIÓN | SIN ARRASTRE<br>HIDRAULICO | CON ARRASTRE<br>HIDRAULICO |
|--------|----------------------------|----------------------------|
| Costa  | 60 l/h/d                   | 90 l/h/d                   |
| Sierra | 50 l/h/d                   | 80 l/h/d                   |
| Selva  | 70 l/h/d                   | 100 l/h/d                  |

Nota: En la figura 52, se puede apreciar cómo es la especificación en cuanto a la dotación de agua según opción de saneamiento por región, en este caso se tomará 50 l/h/d.

Dada las condiciones de saneamiento de la población de santo tomas, se puede afirmar que la mayoría de sistemas son sin arrastre hidráulico por la falta de una red de alcantarillado en la región sierra, por ello, se elige una dotación de agua equivalente a 50 l/h/d.

$$V = \text{poblacion hab} \times \text{dotacion} \frac{l}{\text{hab} \times \text{dia}}$$

(Ec. 4.17)

$$V = 36,958 \text{ hab} \times 50 \frac{l}{\text{hab} \times \text{dia}}$$

$$V = 1,847,900 \frac{l}{\text{dia}}$$

$$V = 1,847.9 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

Para calcular la demanda poblacional anual lo que necesitamos es una pequeña conversión de unidades.

$$V = 1,847.9 \times 365 \frac{m^3}{\text{año}}$$

$$V = 674,483.5 \frac{m^3}{\text{año}}$$

Variación en el consumo: existen variaciones en el consumo de la población ya sea por cuestiones no contempladas en el cálculo de la dotación por habitante según la norma antes mencionada, la variación de consumo diaria promedio anual es **1.3**. Aunque este factor no es determinante para la presa, se empleará como un factor de seguridad para el agua de consumo poblacional total.

$$V = 1.3 \times 674,483.5 \frac{m^3}{\text{año}} = 876,828.55 \frac{m^3}{\text{año}}$$

La demanda contra incendios no será considerada por la falta de presencia de hidrantes en el poblado.

**4.1.3.4. Demanda agrícola.** La demanda agrícola se determinará con ayuda del software CROPWAT 8.0, CLIMWAT 2.0 for CROPWAT y Soil Water Characteristics y los datos recogidos del SENAMHI. Lo primero que se hará, será ingresar los datos para la determinación de la Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>), el software nos pedirá temperatura mínima, máxima el porcentaje de humedad, la velocidad del viento, y las horas de insolación diarias todo con un promedio por mes y nos arrojará la radiación y la E<sub>to</sub>.

**Figura 53.** Datos de Cropwat

ETo Penman-Monteith Mensual - D:\Cuaderno Ing. civil\Tesis de titulacion\crowatt\Datos\CU...

País Location 13 Estación CUZCO

Altitud 3249 m. Latitud 13.55 °S Longitud 71.98 °W

| Mes        | Temp Min | Temp Max | Humedad | Viento | Insolación | Rad       | ETo    |
|------------|----------|----------|---------|--------|------------|-----------|--------|
|            | °C       | °C       | %       | m/s    | horas      | MJ/m²/día | mm/día |
| Enero      | 7.3      | 22.4     | 73      | 2.1    | 5.4        | 18.7      | 3.87   |
| Febrero    | 7.6      | 22.2     | 77      | 2.1    | 4.6        | 17.2      | 3.55   |
| Marzo      | 7.2      | 22.4     | 77      | 1.9    | 5.4        | 17.7      | 3.54   |
| Abril      | 5.1      | 22.5     | 70      | 1.7    | 6.9        | 18.2      | 3.58   |
| Mayo       | 1.3      | 22.4     | 62      | 1.5    | 7.5        | 17.1      | 3.31   |
| Junio      | -0.9     | 21.8     | 55      | 1.5    | 8.0        | 16.7      | 3.15   |
| Julio      | -1.3     | 21.9     | 46      | 1.6    | 7.8        | 16.9      | 3.33   |
| Agosto     | -0.5     | 24.0     | 44      | 2.0    | 7.7        | 18.5      | 4.06   |
| Septiembre | 4.4      | 23.6     | 48      | 2.2    | 6.9        | 19.2      | 4.35   |
| Octubre    | 5.7      | 24.6     | 55      | 2.3    | 6.5        | 19.9      | 4.56   |
| Noviembre  | 5.9      | 26.4     | 52      | 2.4    | 6.3        | 20.0      | 4.97   |
| Diciembre  | 7.7      | 23.0     | 66      | 2.2    | 5.0        | 18.0      | 4.03   |
| Promedio   | 4.1      | 23.1     | 60      | 2.0    | 6.5        | 18.2      | 3.86   |

Nota: En la figura 53, se puede apreciar el uso de los datos del Cropwat para determinar la demanda agrícola. Datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

Una vez obtenidos los datos de radiación y evapotranspiración se proceden a llenar el cuadro de precipitaciones para que el software CROPWAT 8.0. arroje a la precipitación efectiva.

**Figura 54.** Datos para obtención de precipitación efectiva

Precipitación mensual - untitled

Estación  Método Prec. Ef **Método USDA S.C.**

|                   | Precipit.    | Prec. efec   |
|-------------------|--------------|--------------|
|                   | mm           | mm           |
| <b>Enero</b>      | 198.0        | 135.3        |
| <b>Febrero</b>    | 193.7        | 133.7        |
| <b>Marzo</b>      | 181.3        | 128.7        |
| <b>Abril</b>      | 57.6         | 52.3         |
| <b>Mayo</b>       | 12.8         | 12.5         |
| <b>Junio</b>      | 3.4          | 3.4          |
| <b>Julio</b>      | 6.8          | 6.8          |
| <b>Agosto</b>     | 6.3          | 6.3          |
| <b>Septiembre</b> | 18.4         | 17.9         |
| <b>Octubre</b>    | 61.5         | 55.5         |
| <b>Noviembre</b>  | 66.1         | 59.1         |
| <b>Diciembre</b>  | 149.2        | 113.6        |
| <b>Total</b>      | <b>955.3</b> | <b>725.0</b> |

Nota: En la figura 54, se puede apreciar los datos para la obtención de la precipitación efectiva, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

Después de haber completado el cuadro de precipitaciones se comienza a resolver el cuadro de los datos del cultivo, los cuales se obtendrán de la FAO

Primer dato que proporciona el FAO es el cuadro de duración de cultivos este parámetro indicará la duración que se tendrán en las fases del cultivo, y como se debe ingresar datos en el programa para pastos; en el cual se considera una fase media y la fase final de un día.

**Figura 55.** Artículo 56 de la FAO

CUADRO 11 (continuación)

| Cultivo                                         | Inic.<br>(L <sub>ini</sub> ) | Des.<br>(L <sub>des</sub> ) | Med.<br>(L <sub>med</sub> ) | Final<br>(L <sub>fin</sub> ) | Total    | Fecha de<br>Siembra             | Región                                                                                          |
|-------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>j. Forrajes</b>                              |                              |                             |                             |                              |          |                                 |                                                                                                 |
| Alfalfa, temporada completa <sup>a</sup>        | 10                           | 30                          | varia                       | varia                        | varia    |                                 | último -4°C (primavera)<br>hasta primer -4°C (otoño)                                            |
| Alfalfa <sup>a</sup><br>1er ciclo de corte      | 10<br>10                     | 20<br>30                    | 20<br>25                    | 10<br>10                     | 60<br>75 | Enero<br>Abril<br>(último -4°C) | Calif., EU.<br>Idaho, EU.                                                                       |
| Alfalfa <sup>a</sup> , otros<br>ciclos de corte | 5<br>5                       | 10<br>20                    | 10<br>10                    | 5<br>10                      | 30<br>45 | Marzo<br>Junio                  | Calif., EU.<br>Idaho, EU.                                                                       |
| Bermuda para<br>Semilla                         | 10                           | 25                          | 35                          | 35                           | 105      | Marzo                           | Calif. Desierto, EU                                                                             |
| Bermuda, heno<br>(distintos cortes)             | 10                           | 15                          | 75                          | 35                           | 135      | ---                             | Calif. Desierto, EU                                                                             |
| Pastos, Gramas <sup>a</sup>                     | 10                           | 20                          | --                          | --                           | --       |                                 | 7 días antes del último -<br>4°C (primavera) hasta 7 días<br>después del primer -4°C<br>(otoño) |
| Pasto del Sudán,<br>1er corte                   | 25                           | 25                          | 15                          | 10                           | 75       | Abril                           | Calif. Desierto, EU                                                                             |
| Sudán, otros<br>ciclos de corte                 | 3                            | 15                          | 12                          | 7                            | 37       | Junio                           | Calif. Desierto, EU                                                                             |

En la figura 55, se aprecia el tipo de cultivo y sobre la altura máxima del cultivo y los coeficientes de cultivo en sus etapas de crecimiento, en este caso corresponde a un tipo de pastos, gramas, información obtenida de la FAO, Artículo 56.

**Figura 56.** Artículo 56 de la FAO, parte 2

CUADRO 12 (continuación)

| Cultivo                           |                                    | $K_{c\text{ ini}}^{-1}$ | $K_{c\text{ med}}$ | $K_{c\text{ fin}}$ | Altura Máx.<br>Cultivo<br>(h) (m) |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
| <b>j. Forrajes</b>                |                                    |                         |                    |                    |                                   |
| Alfalfa (heno)                    | - efecto promedio de los cortes    | 0,40                    | 0,95 <sup>13</sup> | 0,90               | 0,7                               |
|                                   | - períodos individuales de corte   | 0,40 <sup>14</sup>      | 1,20 <sup>14</sup> | 1,15 <sup>14</sup> | 0,7                               |
|                                   | - para semilla                     | 0,40                    | 0,50               | 0,50               | 0,7                               |
| Bermuda (heno)                    | - efecto promedio de los cortes    | 0,55                    | 1,00 <sup>13</sup> | 0,85               | 0,35                              |
|                                   | - cultivo para semilla (primavera) | 0,35                    | 0,90               | 0,65               | 0,4                               |
| Trébol heno, Bersim               | - efecto promedio de los cortes    | 0,40                    | 0,90 <sup>13</sup> | 0,85               | 0,6                               |
|                                   | - períodos individuales de corte   | 0,40 <sup>14</sup>      | 1,15 <sup>14</sup> | 1,10 <sup>14</sup> | 0,6                               |
| Rye Grass (heno)                  | - efecto promedio de los cortes    | 0,95                    | 1,05               | 1,00               | 0,3                               |
| Pasto del Sudán (anual)           | - efecto promedio de los cortes    | 0,50                    | 0,90 <sup>14</sup> | 0,85               | 1,2                               |
|                                   | - período individual de corte      | 0,50 <sup>14</sup>      | 1,15 <sup>14</sup> | 1,10 <sup>14</sup> | 1,2                               |
| <b>Pastos</b> de Pastoreo         | - <b>pastos</b> de rotación        | 0,40                    | 0,85-1,05          | 0,85               | 0,15-0,30                         |
|                                   | - pastoreo extensivo               | 0,30                    | 0,75               | 0,75               | 0,10                              |
| <b>Pastos</b> (césped, turfgrass) | - época fría <sup>15</sup>         | 0,90                    | 0,95               | 0,95               | 0,10                              |
|                                   | - época caliente <sup>15</sup>     | 0,80                    | 0,85               | 0,85               | 0,10                              |

Nota: En la figura 56, se aprecia de igual manera el tipo de pasto que se requiere para el cultivo, información obtenida de la FAO, Artículo 56.

Al no haber en las tablas un coeficiente estacional, se utilizará el valor de **1** como coeficiente en forma aproximada y general.

**Figura 57.** Coeficientes estacionales

CUADRO 24

Coeficientes estacionales de respuesta de la productividad, FAO No. 33, Serie de Riego y Drenaje.

| Cultivo            | K <sub>e</sub> | Cultivo             | K <sub>e</sub> |
|--------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Alfalfa            | 1,1            | Papa o patata       | 1,1            |
| Banano             | 1,2-1,35       | Cártamo             | 0,8            |
| Frijoles o judías  | 1,15           | Sorgo               | 0,9            |
| Repollo            | 0,95           | Soja                | 0,85           |
| Cítricos           | 1,1-1,3        | Trigo de primavera  | 1,15           |
| Algodón            | 0,85           | Remolacha azucarera | 1,0            |
| Uvas               | 0,85           | Caña de azúcar      | 1,2            |
| Maní o cacahuete   | 0,70           | Girasol             | 0,95           |
| Maíz               | 1,25           | Tomate              | 1,05           |
| Cebolla            | 1,1            | Sandía              | 1,1            |
| Guisantes o arveja | 1,15           | Trigo de invierno   | 1,05           |
| Pimiento           | 1,1            |                     |                |

En la figura 57, se aprecia cuadro de coeficientes estacionales de respuesta a la productividad, información obtenida de la FAO, Artículo 56

El último dato que se tomará como una referencia en si sobre el factor de agotamiento y la profundidad radicular; para ello se utilizará lo calculado en campo por inserción que es 20 cm, pero se utilizará el 0.6 para el cálculo del factor de agotamiento

**Figura 58.** Datos de cultivo

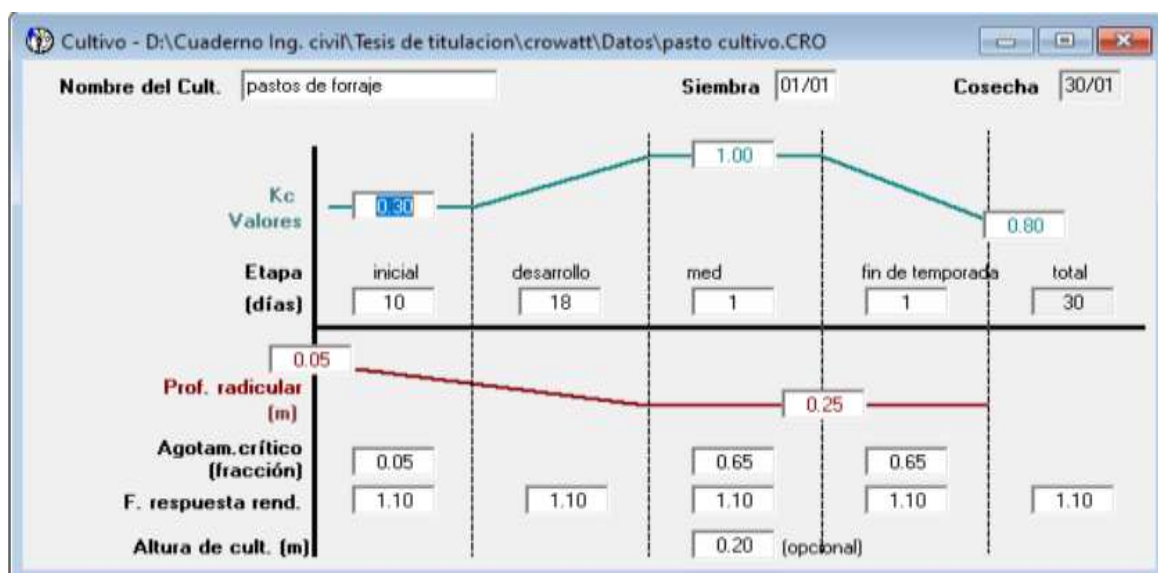
CUADRO 22 (continuación)

| Cultivo                                             | Profundidad radicular máxima <sup>1</sup> (m) | Fracción de agotamiento <sup>2</sup> (para ET = 5 mm día <sup>-1</sup> ) p |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>j. Forrajes</b>                                  |                                               |                                                                            |
| Alfalfa – para heno                                 | 1,0-2,0                                       | 0,55                                                                       |
| – para semilla                                      | 1,0-3,0                                       | 0,60                                                                       |
| Bermuda – para heno                                 | 1,0-1,5                                       | 0,55                                                                       |
| – cultivo de primavera para semilla                 | 1,0-1,5                                       | 0,60                                                                       |
| Trébol heno, Bersim                                 | 0,6-0,9                                       | 0,50                                                                       |
| Rye Grass (heno)                                    | 0,6-1,0                                       | 0,60                                                                       |
| Pasto Sudán, heno (anual)                           | 1,0-1,5                                       | 0,55                                                                       |
| Pastos de Pastoreo – pastos de rotación             | 0,5-1,5                                       | 0,60                                                                       |
| – pastoreo extensivo                                | 0,5-1,5                                       | 0,60                                                                       |
| Pasto (turfgrass, césped) – época fría <sup>3</sup> | 0,5-1,0                                       | 0,40                                                                       |
| – época caliente <sup>3</sup>                       | 0,5-1,0                                       | 0,50                                                                       |
| <b>k. Caña de Azúcar</b>                            |                                               |                                                                            |
|                                                     | 1,2-2,0                                       | 0,65                                                                       |
| <b>l. Frutas Tropicales y Árboles</b>               |                                               |                                                                            |
| Banana – 1 <sup>er</sup> año                        | 0,5-0,9                                       | 0,35                                                                       |
| – 2 <sup>do</sup> año                               | 0,5-0,9                                       | 0,35                                                                       |
| Cacao                                               | 0,7-1,0                                       | 0,30                                                                       |
| Café                                                | 0,9-1,5                                       | 0,40                                                                       |
| Dátiles                                             | 1,5-2,5                                       | 0,50                                                                       |
| Palmas                                              | 0,7-1,1                                       | 0,65                                                                       |
| Piña                                                | 0,3-0,6                                       | 0,50                                                                       |

Nota: En la figura 58, se observa los datos de cultivo de acuerdo al tipo de pasto, información obtenida de la FAO, Artículo 56.

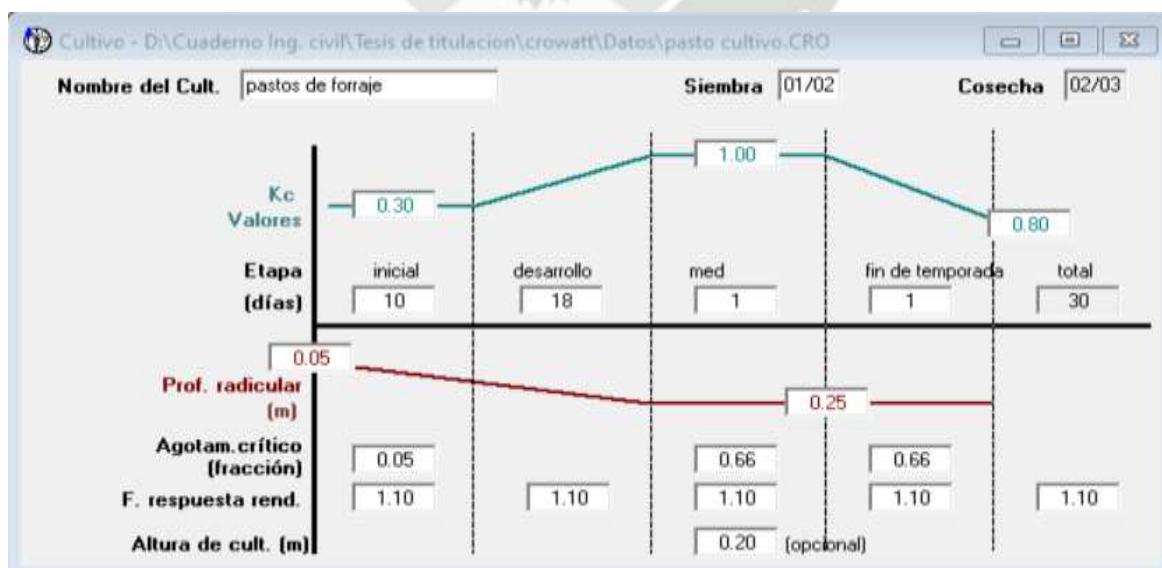
Finalmente, se procederá a ingresar los datos al programa, los datos del cultivo y algunos varían dependiendo del mes.

**Figura 59.** Datos del mes de enero



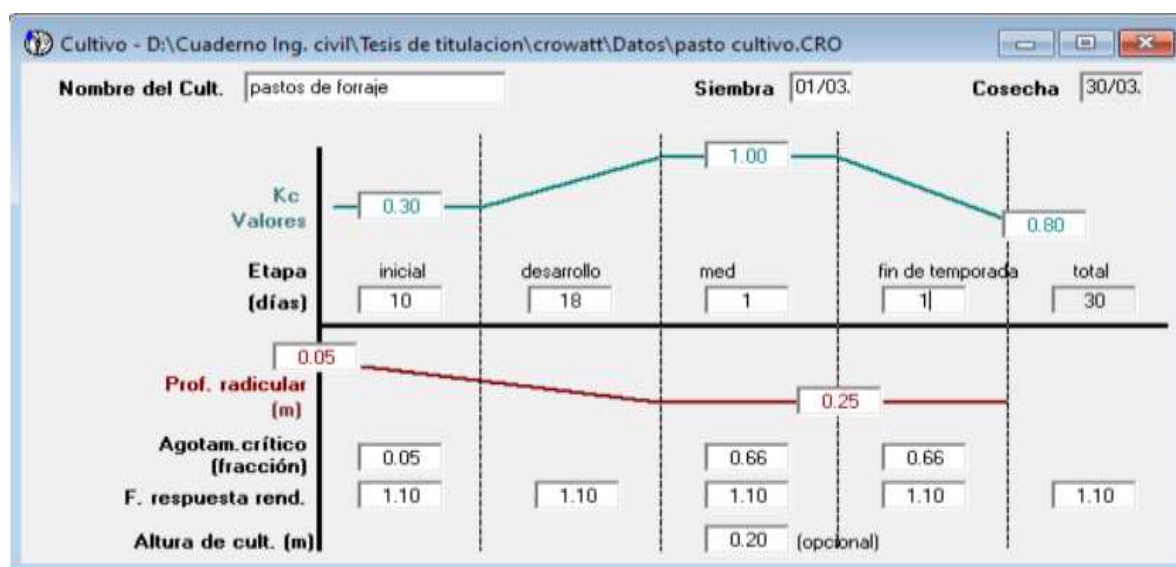
Nota: En la figura 59, se puede observar los datos de cultivo para el mes de enero, datos obtenidos del software CROPWAT.8.0

**Figura 60.** Datos del mes de febrero



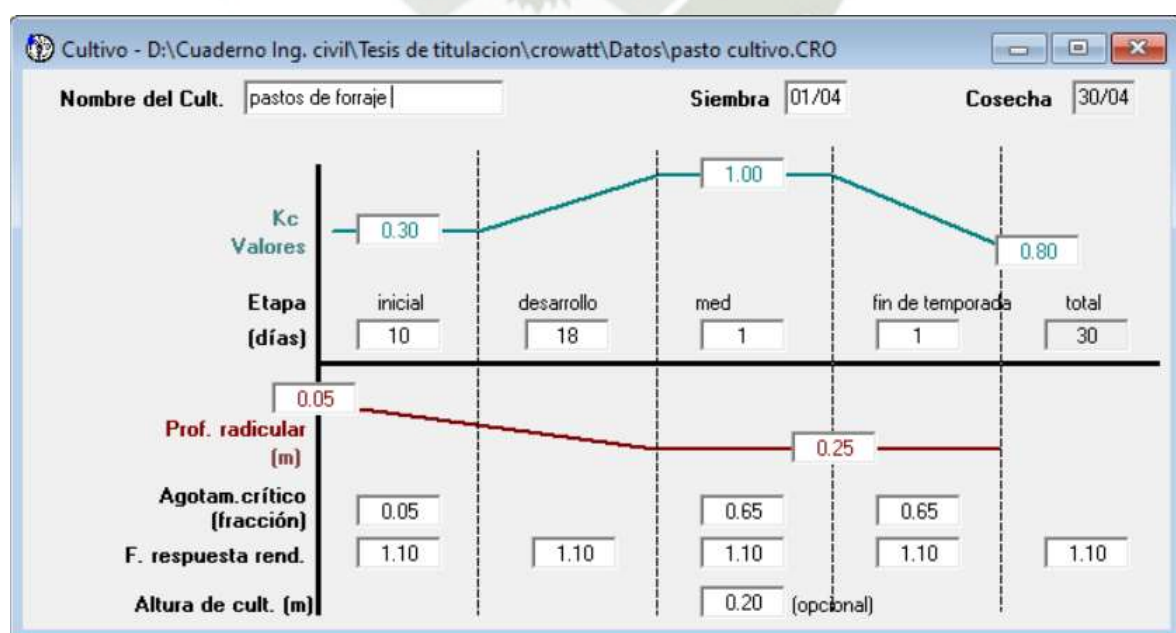
Nota: En la figura 60, se puede observar los datos de cultivo para el mes de febrero, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

**Figura 61.** Datos del mes de marzo



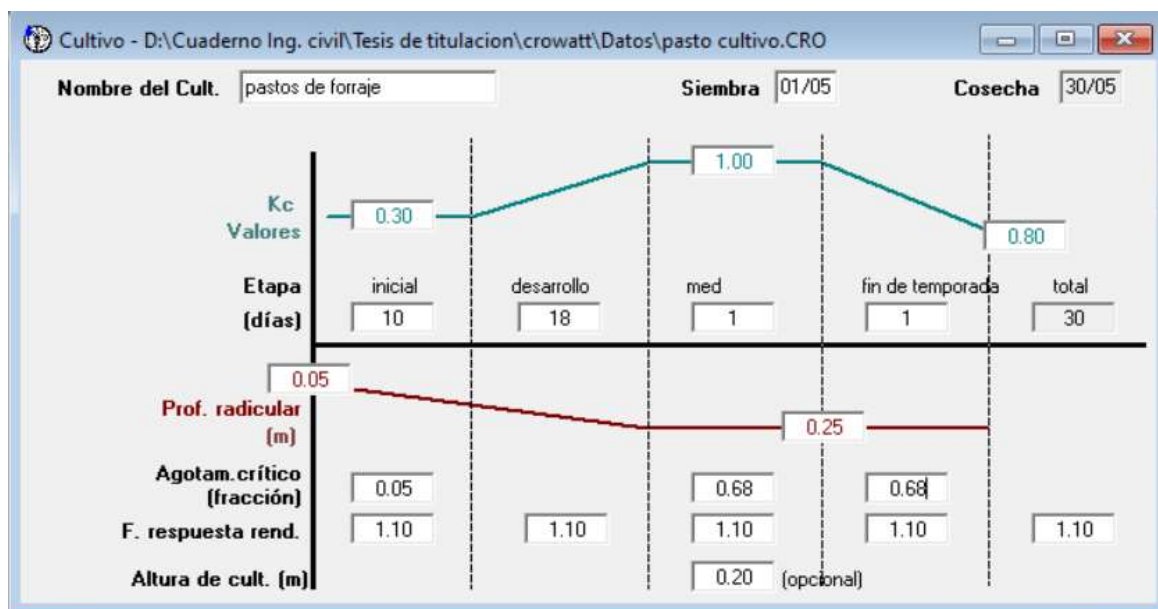
Nota: En la figura 61, se puede observar los datos de cultivo para el mes de marzo, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

**Figura 62.** Datos del mes de abril



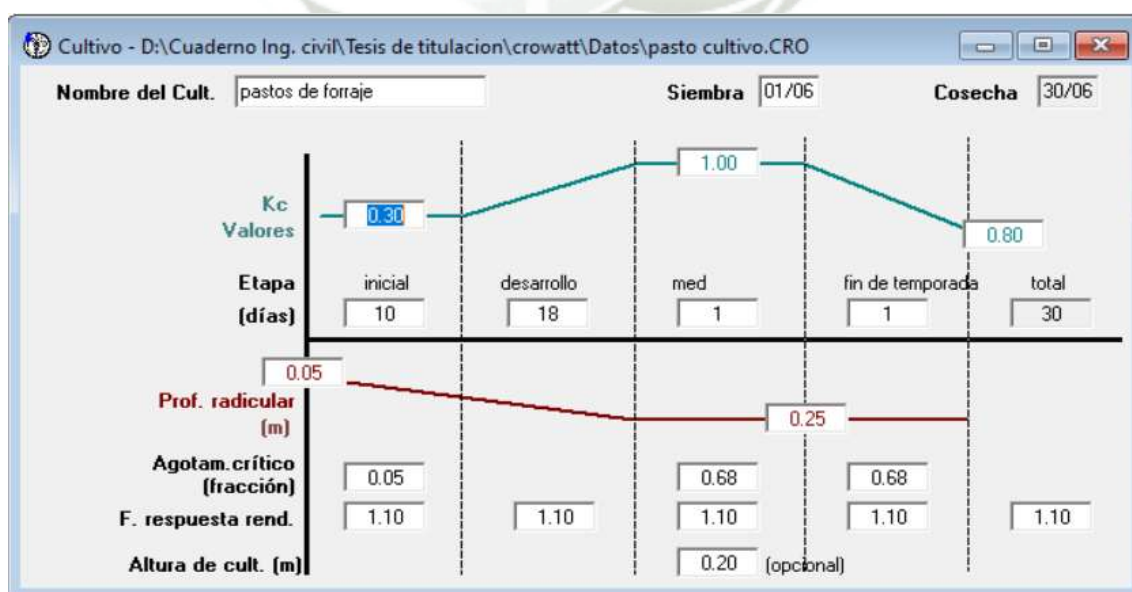
Nota: En la figura 62, se puede observar los datos de cultivo para el mes de abril, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

**Figura 63.** Datos del mes de mayo



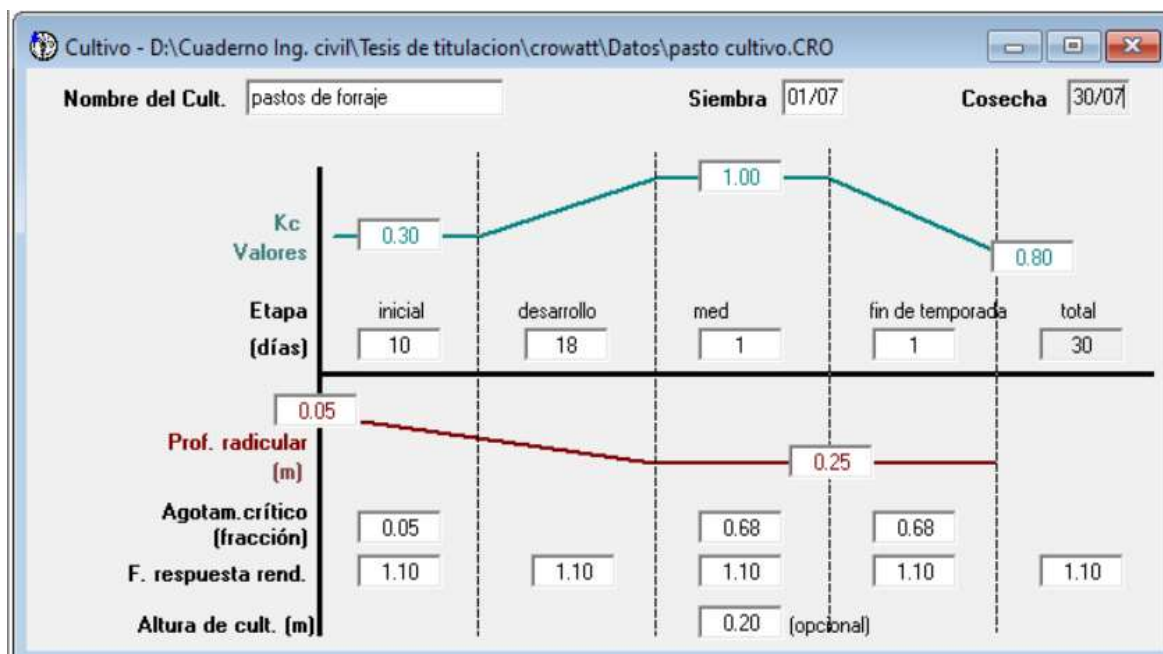
Nota: En la figura 63, se puede observar los datos de cultivo para el mes de mayo, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

**Figura 64.** Datos del mes de junio



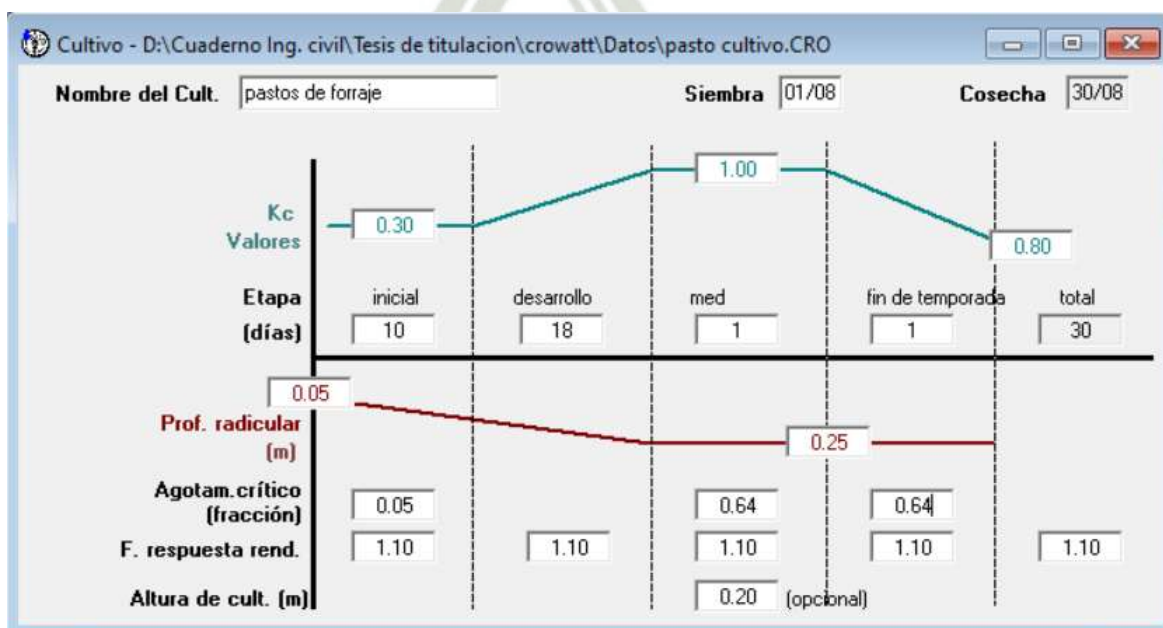
Nota: En la figura 64, se puede observar los datos de cultivo para el mes de junio, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

**Figura 65.** Datos del mes de Julio



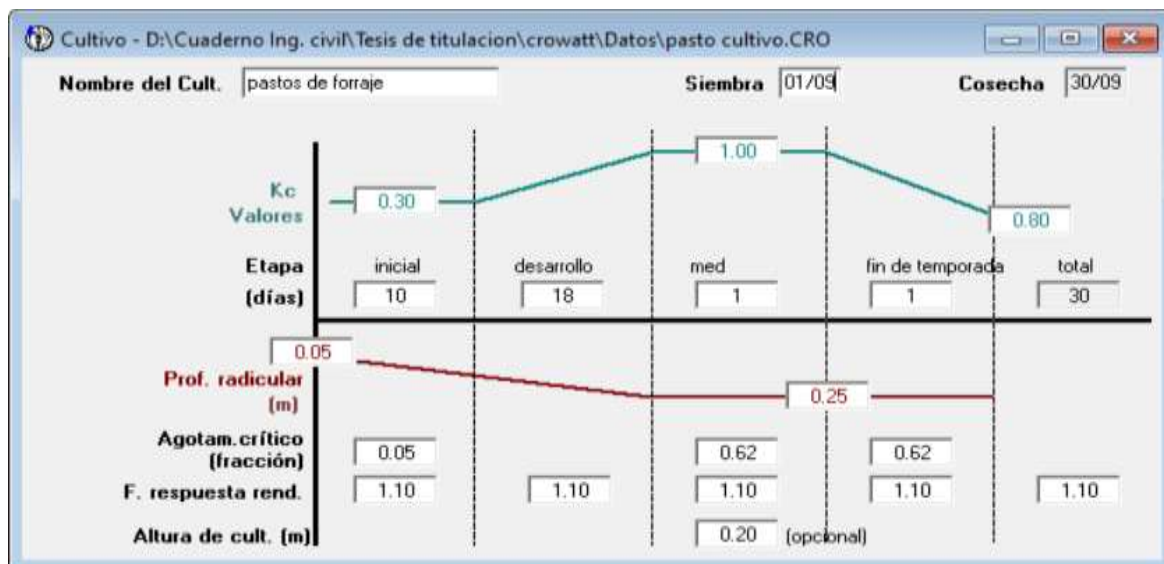
Nota: En la figura 65, se puede observar los datos de cultivo para el mes de julio, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

**Figura 66.** Datos del mes de agosto



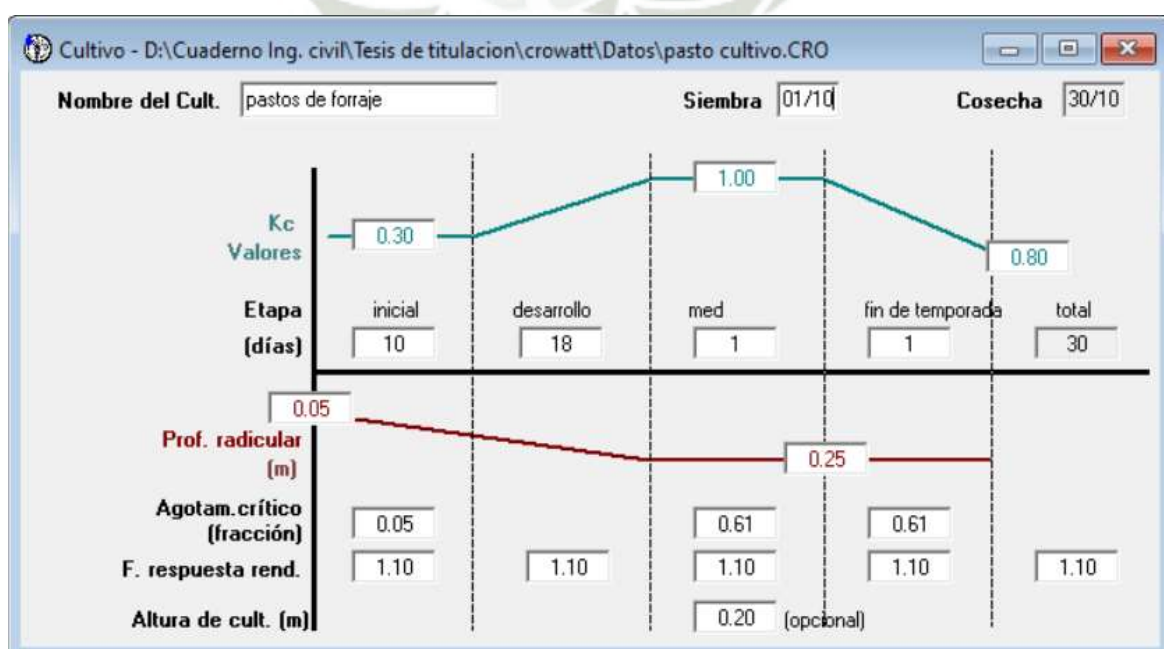
Nota: En la figura 66, se puede observar los datos de cultivo para el mes de agosto, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

**Figura 67.** Datos del mes de septiembre



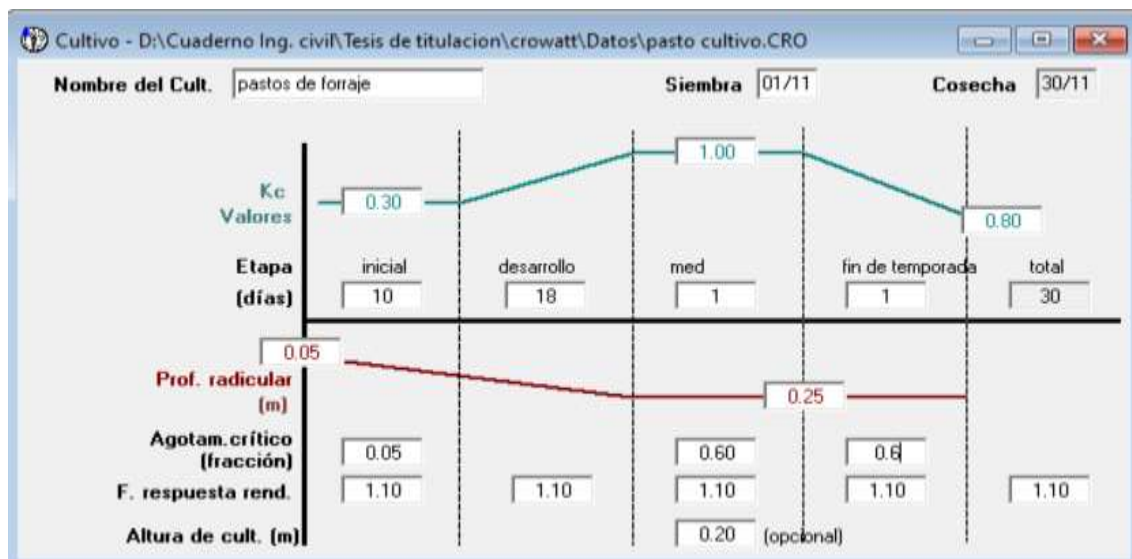
Nota: En la figura 67, se puede observar los datos de cultivo para el mes de septiembre, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

**Figura 68.** Datos del mes de octubre



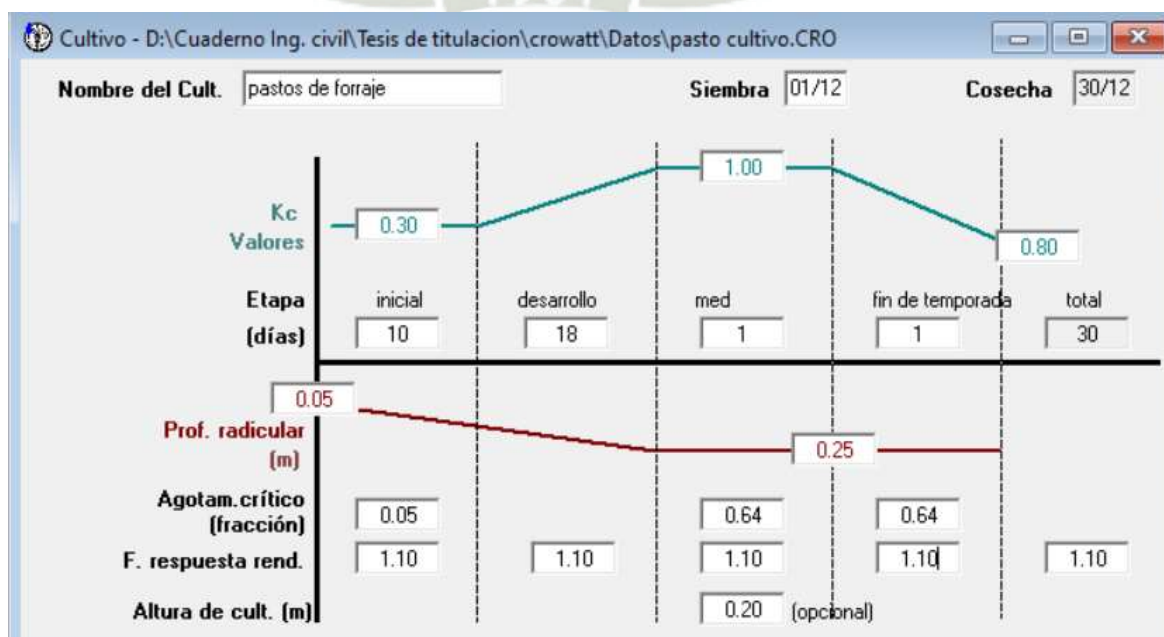
Nota: En la figura 68, se puede observar los datos de cultivo para el mes de octubre, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

**Figura 69.** Datos del mes de noviembre



Nota: En la figura 69, se puede observar los datos de cultivo para el mes de noviembre, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

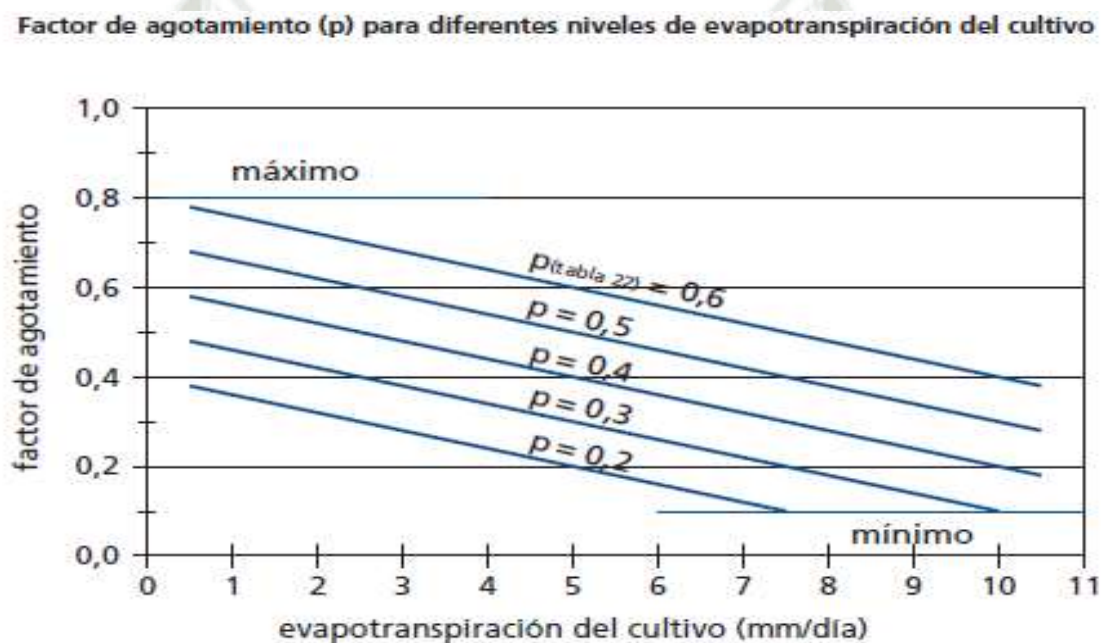
**Figura 70.** Datos del mes de diciembre



Nota: En la figura 70, se puede observar los datos de cultivo para el mes de diciembre, datos obtenidos del software CROPWAT 8.0.

Como se puede observar lo único que varía es el agotamiento crítico. Lo cual se puede determinar con el siguiente Abaco:

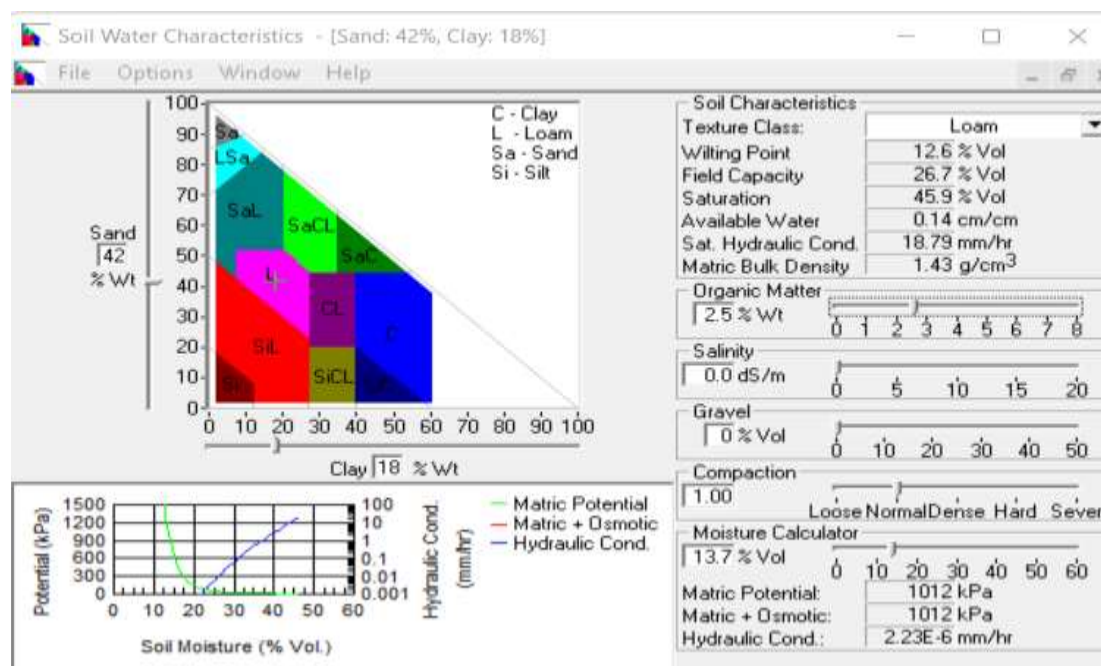
**Figura 71.** Ábaco de factor de agotamiento ( $p$ ) para diferentes niveles de evapotranspiración del cultivo



Nota: En la figura 71, se puede observar el ábaco de factor de agotamiento para diferentes niveles del cultivo considerando la evapotranspiración del cultivo, datos obtenidos de la FAO, Artículo 56.

El siguiente dato a completar es el del suelo, para ello, se considera los datos que ya conocidos del suelo y del programa Soil Water Characteristics. El suelo que tenemos a simple vista es Loam.

Figura 72. Programa Soil water characteristics



Nota: En la figura 72, se aprecia el gráfico del software soil water Characteristics, imagen obtenida del software Soil Water characteristics. Año 2022

Las propiedades a usar son las siguientes realizando una pequeña transformación de unidades.

Tabla 49. Profundidad radicular

|                              |           |   |            |
|------------------------------|-----------|---|------------|
| Humedad del suelo disponible | 0.14cm/cm | = | 140.00mm/m |
| Saturación hidráulica        | 18.79mm/h | = | 450.96mm/d |

Agotamiento inicial de humedad de suelo(%ADT)

Punto de marchitez 12.60%

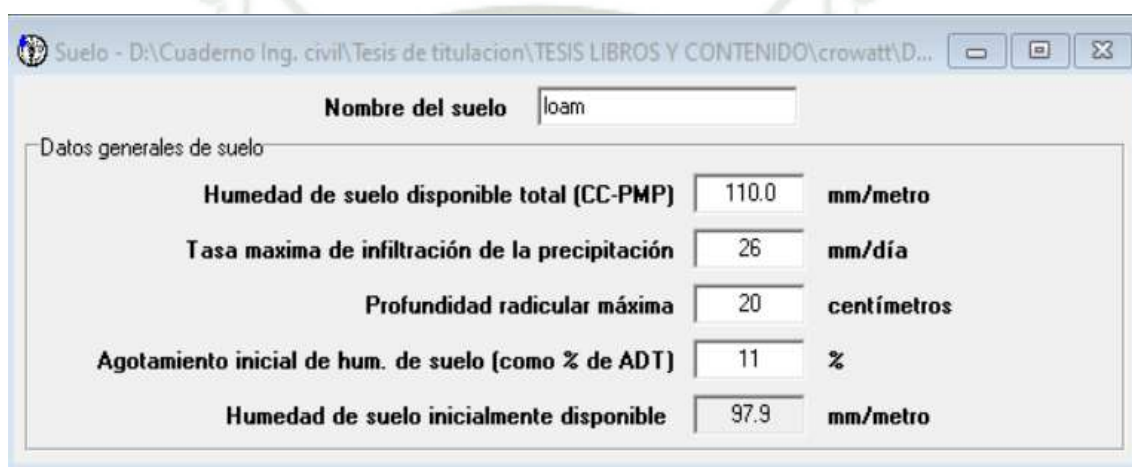
Capacidad de campo 26.70%

Agotamiento inicial de humedad 14.10%

Nota: En la tabla 49 se puede apreciar los valores correspondientes a la profundidad radicular, donde se denotan los valores para saturación hídrica, agotamiento inicial de humedad de suelo, punto de marchitez, capacidad de campo y agotamiento inicial de humedad.

Con todos estos recursos se procederá a llenar los datos del programa y con los datos de profundidad radicular antes vistos en la parte del cuadro del cultivo.

**Figura 73.** Características del suelo



**Suelo - D:\Cuaderno Ing. civil\Tesis de titulación\TESIS LIBROS Y CONTENIDO\crowatt\D...**

Nombre del suelo: loam

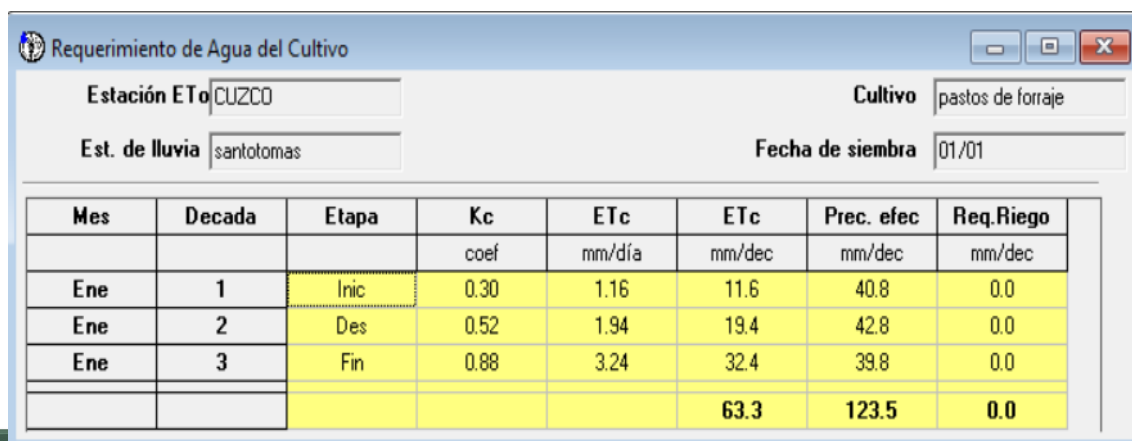
Datos generales de suelo:

|                                                      |       |             |
|------------------------------------------------------|-------|-------------|
| Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)           | 110.0 | mm/metro    |
| Tasa máxima de infiltración de la precipitación      | 26    | mm/día      |
| Profundidad radicular máxima                         | 20    | centímetros |
| Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT) | 11    | %           |
| Humedad de suelo inicialmente disponible             | 97.9  | mm/metro    |

Nota: En la figura 73, se puede apreciar los valores de las características del suelo, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

Una vez terminado este procedimiento, se prosigue a hallar el agotamiento crítico de cada mes dependiendo de la cantidad de lluvias existentes en los meses que no se necesiten irrigación y meses que si, tal es el ejemplo de enero y agosto donde se puede apreciar estas consideraciones respectivas.

**Figura 74.** Resultados de enero



**Requerimiento de Agua del Cultivo**

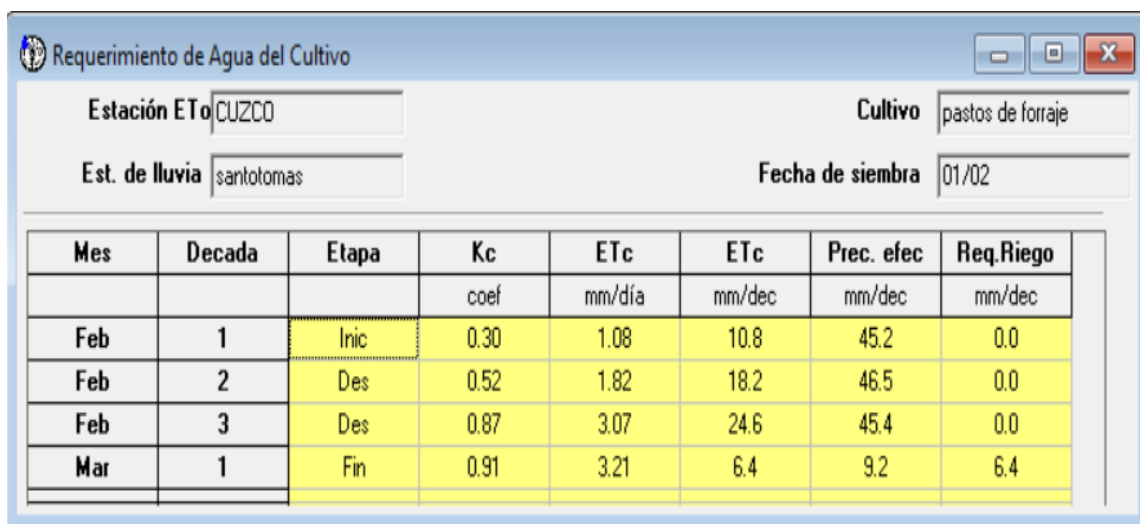
Estación ETo: CUZCO Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas Fecha de siembra: 01/01

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Ene | 1      | Inic   | 0.30 | 1.16   | 11.6   | 40.8       | 0.0       |
| Ene | 2      | Des    | 0.52 | 1.94   | 19.4   | 42.8       | 0.0       |
| Ene | 3      | Fin    | 0.88 | 3.24   | 32.4   | 39.8       | 0.0       |
|     |        |        |      |        | 63.3   | 123.5      | 0.0       |

Nota: En la figura 74, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de enero, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

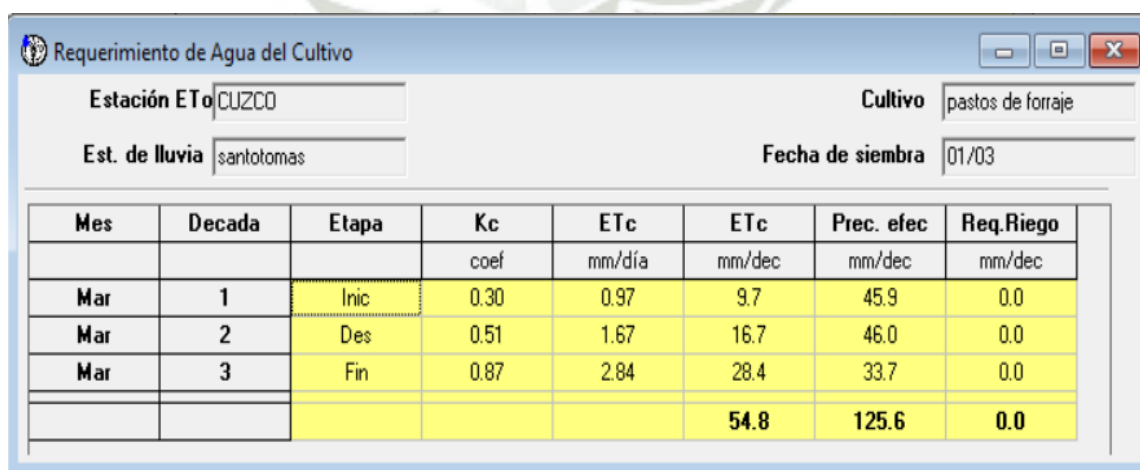
**Figura 75.** Resultados de febrero



| Mes | Decada | Etapa | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|-------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |       | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Feb | 1      | Inic  | 0.30 | 1.08   | 10.8   | 45.2       | 0.0       |
| Feb | 2      | Des   | 0.52 | 1.82   | 18.2   | 46.5       | 0.0       |
| Feb | 3      | Des   | 0.87 | 3.07   | 24.6   | 45.4       | 0.0       |
| Mar | 1      | Fin   | 0.91 | 3.21   | 6.4    | 9.2        | 6.4       |

Nota: En la figura 75, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de febrero, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

**Figura 76.** Resultados de marzo



| Mes | Decada | Etapa | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|-------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |       | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Mar | 1      | Inic  | 0.30 | 0.97   | 9.7    | 45.9       | 0.0       |
| Mar | 2      | Des   | 0.51 | 1.67   | 16.7   | 46.0       | 0.0       |
| Mar | 3      | Fin   | 0.87 | 2.84   | 28.4   | 33.7       | 0.0       |
|     |        |       |      |        | 54.8   | 125.6      | 0.0       |

información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

Figura 77. Resultados de abril

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: CUZCO Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas Fecha de siembra: 01/04

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Abr | 1      | Inic   | 0.30 | 1.07   | 10.7   | 26.4       | 0.0       |
| Abr | 2      | Des    | 0.52 | 1.86   | 18.6   | 18.0       | 0.6       |
| Abr | 3      | Fin    | 0.89 | 3.09   | 30.9   | 13.5       | 17.4      |
|     |        |        |      |        | 60.2   | 57.9       | 17.9      |

Nota: En la figura 77, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de abril, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

Figura 78. Resultados de mayo

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: CUZCO Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas Fecha de siembra: 01/05

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| May | 1      | Inic   | 0.30 | 1.02   | 10.2   | 8.4        | 1.8       |
| May | 2      | Des    | 0.52 | 1.73   | 17.3   | 2.9        | 14.4      |
| May | 3      | Fin    | 0.89 | 2.91   | 29.1   | 2.0        | 26.9      |
|     |        |        |      |        | 56.6   | 13.3       | 43.1      |

Nota: En la figura 78, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de mayo, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

Figura 79. Resultados de junio

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: CUZCO Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas Fecha de siembra: 01/06

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Jun | 1      | Inic   | 0.30 | 0.96   | 9.6    | 1.7        | 8.0       |
| Jun | 2      | Des    | 0.52 | 1.65   | 16.5   | 0.3        | 16.3      |
| Jun | 3      | Fin    | 0.90 | 2.89   | 28.9   | 0.7        | 28.1      |
|     |        |        |      |        | 55.0   | 2.7        | 52.4      |

Nota: En la figura 79, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de junio, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

Figura 80. Resultado de julio

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: CUZCO Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas Fecha de siembra: 01/07

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Jul | 1      | Inic   | 0.30 | 0.91   | 9.1    | 1.3        | 7.9       |
| Jul | 2      | Des    | 0.52 | 1.60   | 16.0   | 1.5        | 14.6      |
| Jul | 3      | Fin    | 0.89 | 2.92   | 29.2   | 2.3        | 26.7      |
|     |        |        |      |        | 54.4   | 5.1        | 49.1      |

Nota: En la figura 80, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de julio, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

**Figura 81.** Resultados de agosto

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: CUZCO Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas Fecha de siembra: 01/08

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Ago | 1      | Inic   | 0.30 | 1.15   | 11.5   | 3.8        | 7.6       |
| Ago | 2      | Des    | 0.53 | 2.14   | 21.4   | 4.9        | 16.6      |
| Ago | 3      | Fin    | 0.91 | 3.79   | 37.9   | 4.9        | 32.5      |
|     |        |        |      |        | 70.8   | 13.6       | 56.7      |

Nota: En la figura 81, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de agosto, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

**Figura 82.** Resultados de septiembre

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: CUZCO Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas Fecha de siembra: 01/09

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Sep | 1      | Inic   | 0.30 | 1.28   | 12.8   | 5.2        | 7.7       |
| Sep | 2      | Des    | 0.52 | 2.29   | 22.9   | 5.4        | 17.5      |
| Sep | 3      | Fin    | 0.90 | 4.00   | 40.0   | 8.6        | 31.3      |
|     |        |        |      |        | 75.7   | 19.2       | 56.5      |

Nota: En la figura 82, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de septiembre, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

**Figura 83.** Resultados de Octubre

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: CUZCO      Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas      Fecha de siembra: 01/10

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Oct | 1      | Inic   | 0.30 | 1.36   | 13.6   | 12.5       | 1.0       |
| Oct | 2      | Des    | 0.52 | 2.40   | 24.0   | 15.6       | 8.4       |
| Oct | 3      | Fin    | 0.90 | 4.24   | 42.4   | 15.6       | 25.2      |
|     |        |        |      |        | 80.0   | 43.8       | 34.6      |

Nota: En la figura 83, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de octubre, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

**Figura 84.** Resultados de noviembre

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: CUZCO      Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas      Fecha de siembra: 01/11

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Nov | 1      | Inic   | 0.30 | 1.48   | 14.8   | 17.6       | 0.0       |
| Nov | 2      | Des    | 0.53 | 2.68   | 26.8   | 18.9       | 7.9       |
| Nov | 3      | Fin    | 0.90 | 4.29   | 42.9   | 24.8       | 18.1      |
|     |        |        |      |        | 84.5   | 61.3       | 26.0      |

Nota: En la figura 84, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de noviembre, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

**Figura 85.** Resultados de diciembre

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: CUZCO      Cultivo: pastos de forraje

Est. de lluvia: santotomas      Fecha de siembra: 01/12

| Mes | Decada | Etapas | Kc   | ETc    | ETc    | Prec. efec | Req.Riego |
|-----|--------|--------|------|--------|--------|------------|-----------|
|     |        |        | coef | mm/día | mm/dec | mm/dec     | mm/dec    |
| Dic | 1      | Inic   | 0.30 | 1.31   | 13.1   | 32.3       | 0.0       |
| Dic | 2      | Des    | 0.52 | 2.11   | 21.1   | 38.3       | 0.0       |
| Dic | 3      | Fin    | 0.89 | 3.51   | 35.1   | 36.1       | 0.0       |
|     |        |        |      |        | 69.3   | 106.8      | 0.0       |

Nota: En la figura 85, se aprecia los resultados de requerimientos de agua para cultivo en el mes de diciembre, información obtenida del Software Cropwat, versión 8.0.

Finalmente, se suman todos los requerimientos de riego totales y se realiza la transformación de unidades a metros cúbicos por hectárea.

$$R = 248.3mm/dec$$

$$R = 248.3l/m^2$$

$$R = 2483 m^3/hec$$

Una vez que se tiene el requerimiento de riego en metros cúbicos por ha, se obtiene la demanda agrícola multiplicando por el número de hectáreas y la eficiencia de riego 0.70, dado que se empleará un sistema de riego por aspersión (óptimo para zonas alto andinas con la presente orografía) y el resultado obtenido es:

$$V = \frac{2483m^3/hec}{0.7} \times 284.3 \text{ has} \quad (\text{Ec. 4.20})$$

$$V = 1,008,452.7 \text{ m}^3$$

Al tener calculadas la oferta y la demanda se procederá a realizar el balance hídrico.

**4.1.3.5. Balance Hídrico.** Una vez recopilada toda la información concerniente y calculada se procede a elaborar un cuadro resumen que dará una idea general de los ingresos y las pérdidas de agua en la represa.

**Tabla 50. Balance hídrico**

| DEMANDA m3             |          |          |          |           |           |           |           |           |            |           |           |           |
|------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| CUENCA DE QUEUÑAMAYO   |          |          |          |           |           |           |           |           |            |           |           |           |
| DESCRIPCIÓN            | MESES    |          |          |           |           |           |           |           |            |           |           |           |
|                        | ENERO    | FEBRERO  | MARZO    | ABRIL     | MAYO      | JUNIO     | JULIO     | AGOSTO    | SEPTIEMBRE | OCTUBRE   | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| Número de Días         | 31.0     | 28.0     | 31.0     | 30.0      | 31.0      | 30.0      | 31.0      | 31.0      | 30.0       | 31.0      | 30.0      | 31.0      |
| Demanda agrícola       | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 54829.29  | 133214.86 | 161238.71 | 161238.71 | 199010.00 | 180733.57  | 58078.43  | 60109.14  | 0.00      |
| Demanda Poblacional    | 74470.37 | 67263.56 | 74470.37 | 72068.10  | 74470.37  | 72068.10  | 74470.37  | 74470.37  | 72068.10   | 74470.37  | 72068.10  | 74470.37  |
| Demanda Neta           | 74470.37 | 67263.56 | 74470.37 | 126897.39 | 207685.23 | 233306.81 | 235709.08 | 273480.37 | 252801.67  | 132548.80 | 132177.24 | 74470.37  |
| CULTIVO DE             | Enero    | Febrero  | Marzo    | Abril     | Mayo      | Junio     | Julio     | Agosto    | Setiembre  | Octubre   | Noviembre | Diciembre |
| REFERENCIA             |          |          |          |           |           |           |           |           |            |           |           |           |
| Área cultivada por mes | 284.30   | 284.30   | 284.30   | 284.30    | 284.30    | 284.30    | 284.30    | 284.30    | 284.30     | 284.30    | 284.30    | 284.30    |
| Hectáreas              |          |          |          |           |           |           |           |           |            |           |           |           |
| Kc ponderado           | 0.39     | 0.41     | 0.39     | 0.39      | 0.39      | 0.39      | 0.39      | 0.39      | 0.39       | 0.39      | 0.39      | 0.39      |
| Evapotranspiración     | 42.06    | 41.56    | 39.88    | 38.02     | 33.66     | 31.34     | 33.04     | 39.58     | 45.04      | 48.02     | 51.74     | 44.04     |
| potencial (mm/mes)     |          |          |          |           |           |           |           |           |            |           |           |           |
| Eficiencia de riego    | 0.70     | 0.70     | 0.70     | 0.70      | 0.70      | 0.70      | 0.70      | 0.70      | 0.70       | 0.70      | 0.70      | 0.70      |
| Requerimiento de riego | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 135.00    | 328.00    | 397.00    | 397.00    | 490.00    | 445.00     | 143.00    | 148.00    | 0.00      |
| (m <sup>3</sup> ) /ha  |          |          |          |           |           |           |           |           |            |           |           |           |

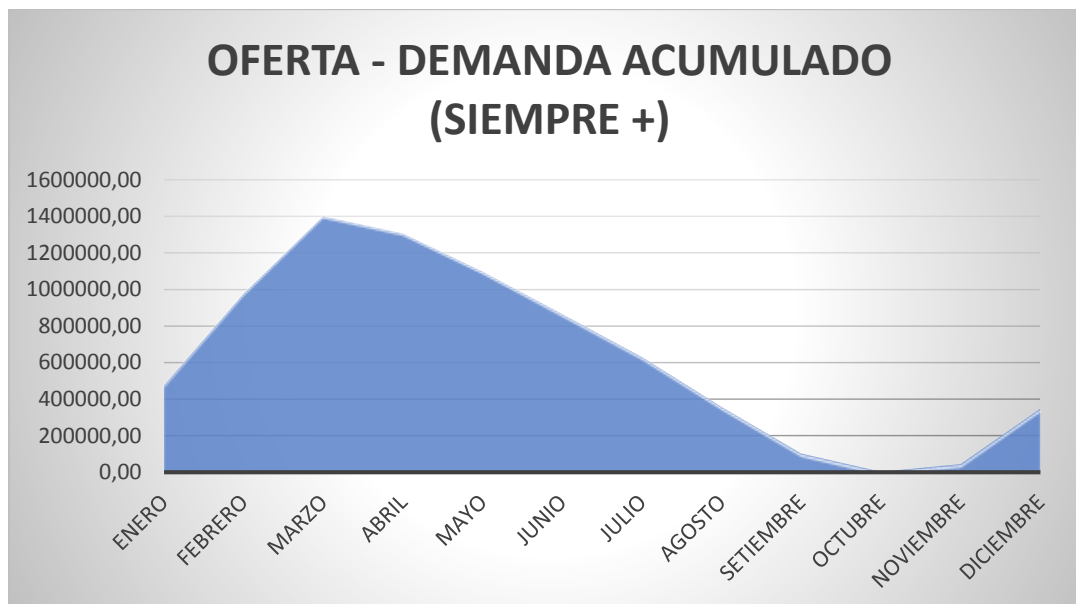
|                                                |              |                |              |              |             |              |              |               |                   |                |                  |                  |
|------------------------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|
| <b>Demanda Total M3</b>                        | 0.00         | 0.00           | 0.00         | 54829.29     | 133214.86   | 161238.71    | 161238.71    | 199010.00     | 180733.57         | 58078.43       | 60109.14         | 0.00             |
| <b>BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA QUEUÑAMAYO</b> |              |                |              |              |             |              |              |               |                   |                |                  |                  |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>                             | <b>ENERO</b> | <b>FEBRERO</b> | <b>MARZO</b> | <b>ABRIL</b> | <b>MAYO</b> | <b>JUNIO</b> | <b>JULIO</b> | <b>AGOSTO</b> | <b>SEPTIEMBRE</b> | <b>OCTUBRE</b> | <b>NOVIEMBRE</b> | <b>DICIEMBRE</b> |
| <b>Precipitación Pm</b>                        | 198.02       | 193.67         | 181.35       | 57.60        | 12.81       | 3.40         | 6.85         | 6.33          | 18.42             | 61.53          | 66.13            | 149.21           |
| <b>ETP Corregido</b>                           | 28.82        | 22.16          | 28.66        | 32.17        | 0.43        | 0.68         | 0.05         | 0.09          | 2.04              | 35.49          | 2.00             | 27.60            |
| <b>Infiltración</b>                            | 22.81        | 20.20          | 19.97        | 17.07        | 12.38       | 2.72         | 6.80         | 6.24          | 16.39             | 17.42          | 17.69            | 21.52            |
| <b>Caudal Ecológico</b>                        | 21.96        | 22.70          | 19.91        | 1.25         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00          | 0.00              | 1.29           | 6.97             | 15.01            |
| <b>Precipitación Efectiva</b>                  | 146.39       | 151.31         | 132.72       | 8.36         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00          | 0.00              | 8.62           | 46.44            | 100.09           |
| <b>Precipitación usable mm</b>                 | 124.43       | 128.61         | 112.81       | 7.11         | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00          | 0.00              | 7.33           | 39.47            | 85.08            |
| <b>Precipitación usable m</b>                  | 0.1244       | 0.1286         | 0.1128       | 0.0071       | 0.0000      | 0.0000       | 0.0000       | 0.0000        | 0.0000            | 0.0073         | 0.0395           | 0.0851           |
| <b>Área m2</b>                                 | 4420986      | 4420986        | 4420986      | 4420986      | 4420986     | 4420986      | 4420986      | 4420986       | 4420986           | 4420986        | 4420986          | 4420986          |
| <b>Volumen m3(Oferta neta)</b>                 | 550103.95    | 568584.03      | 498730.78    | 31419.61     | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00          | 0.00              | 32405.01       | 174517.42        | 376115.87        |
| <b>Volumen Mm3</b>                             | 0.5501       | 0.5686         | 0.4987       | 0.0314       | 0.0000      | 0.0000       | 0.0000       | 0.0000        | 0.0000            | 0.0324         | 0.1745           | 0.3761           |
| <b>Demanda m3</b>                              | 74470.37     | 67263.56       | 74470.37     | 126897.39    | 207685.23   | 233306.81    | 235709.08    | 273480.37     | 252801.67         | 132548.80      | 132177.24        | 74470.37         |
| <b>Resta VO - D</b>                            | 475633.5806  | 501320.4744    | 424260.4106  | -            | -           | -            | -            | -             | -252801.6714      | -              | 42340.1814       | 301645.5029      |
|                                                |              |                |              | 95477.7777   | 207685.2271 | 233306.8143  | 235709.0843  | 273480.3700   |                   | 100143.7864    |                  |                  |

Nota: En la tabla 50 se puede apreciar la demanda y balance hídrico de la cuenca de Queuñamayo, la oferta hídrica dada por cada mes, considerando demanda agrícola, demanda poblacional, demanda neta, evapotranspiración, precipitación efectiva, caudal ecológico, volumen y demanda total.

#### 4.1.3.5.1. Oferta > Demanda.

Se puede observar mediante curvas representativas en la siguiente figura:

**Figura 86.** Oferta vs demanda acumulativa



Nota: En la figura 86, se puede observar el gráfico de oferta vs demanda acumulativa, para el cálculo del balance hídrico.

**4.1.3.5.2 Análisis de precipitaciones máximas.** Para realizar el análisis de precipitaciones máximas de 4 estaciones, se calculará un promedio ponderado con los mismos pesos otorgados por el polígono de Thiessen sobre las precipitaciones máximas de cada estación para obtener una sola.

**Tabla 51.** *Análisis de precipitaciones máximas*

| AÑO  | MAX. ANUALES | AÑO  | MAX. ANUALES |
|------|--------------|------|--------------|
| 2001 | 29.8         | 2001 | 30.71        |
| 2002 | 35.6         | 2002 | 31.54        |
| 2003 | 25.5         | 2003 | 29.45        |
| 2004 | 37.8         | 2004 | 36.84        |
| 2005 | 33.8         | 2005 | 38.13        |
| 2006 | 42.5         | 2006 | 43.75        |
| 2007 | 41.5         | 2007 | 39.98        |
| 2008 | 33.6         | 2008 | 33.96        |
| 2009 | 22.6         | 2009 | 27.76        |
| 2010 | 45           | 2010 | 37.42        |
| 2011 | 28.5         | 2011 | 28.79        |
| 2012 | 32.2         | 2012 | 32.22        |
| 2013 | 37.7         | 2013 | 33.39        |
| 2014 | 51.5         | 2014 | 31.77        |
| 2015 | 42.9         | 2015 | 33.85        |
| 2016 | 35.2         | 2016 | 29.49        |
| 2017 | 51.9         | 2017 | 47.6         |
| 2018 | 28.2         | 2018 | 28.8         |
| 2019 | 50.3         | 2019 | 43           |
| 2020 | 36.1         | 2020 | 44.4         |
| 2021 | 38.6         | 2021 | 37.38        |

Nota: En la tabla 51 se aprecia los valores para el análisis de precipitaciones máximas anuales

**Tabla 52.** *Análisis de precipitaciones máximas*

| AÑO  | MÁXIMOS ANUALES | AÑO  | MÁXIMOS ANUALES |
|------|-----------------|------|-----------------|
| 2001 | 29              | 2001 | 36.21           |
| 2002 | 32.39           | 2002 | 36.61           |
| 2003 | 24.78           | 2003 | 37.9            |
| 2004 | 28.86           | 2004 | 32.38           |
| 2005 | 37.29           | 2005 | 37.58           |
| 2006 | 41.05           | 2006 | 32.44           |
| 2007 | 29.38           | 2007 | 35.75           |
| 2008 | 27.3            | 2008 | 32.6            |
| 2009 | 27.22           | 2009 | 37.48           |
| 2010 | 36.93           | 2010 | 42.79           |
| 2011 | 26.82           | 2011 | 37.56           |
| 2012 | 31.97           | 2012 | 36.54           |
| 2013 | 27.81           | 2013 | 33.47           |
| 2014 | 32.22           | 2014 | 36.71           |
| 2015 | 38.06           | 2015 | 38.64           |
| 2016 | 30.24           | 2016 | 48.73           |
| 2017 | 48.37           | 2017 | 41.23           |
| 2018 | 30.6            | 2018 | 34.56           |
| 2019 | 50.1            | 2019 | 48.4            |
| 2020 | 38              | 2020 | 39.6            |
| 2021 | 34.3            | 2021 | 32.69           |

Nota: En la tabla 52 se puede apreciar los valores para el análisis de precipitaciones máximas anuales

**Tabla 53.** Precipitación promedio con el método del polígono de Thyssen

| PRECIPITACION PROMEDIO CON EL METODO DEL POLIGONO DE THIESSEN |                           |          |            |      |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|----------|------------|------|
| ORDEN                                                         | ESTACIONES METEREOLÓGICAS | AREA(HA) | PORCENTAJE | %    |
| 1                                                             | SANTO TOMÁS CONVENCIONAL  | 148.042  | 0.335      | 33.5 |
| 2                                                             | MARCA CUNKA               | 141.63   | 0.32       | 32   |
| 3                                                             | SANTO TOMÁS AUTOMÁTICA    | 113.165  | 0.256      | 25.6 |
| 4                                                             | VISCA VISCA               | 39.261   | 0.089      | 8.9  |
| <b>RESULTADOS/<br/>SUMATORIA</b>                              |                           | 442.098  | 1          | 100  |

Nota: En la tabla 53 se puede apreciar los valores para precipitación promedio con el método del polígono de Thiessen en cada una de las estaciones.

**Tabla 54.** Precitaciones máximas cuenca Queuñamayo

| PRECIP MAX CUENCA QUEUÑAMAYO |             |         |
|------------------------------|-------------|---------|
| AÑO                          | MAX ANUALES | LOG10   |
| 2001                         | 30.35       | 1.48212 |
| 2002                         | 33.62       | 1.52664 |
| 2003                         | 27.38       | 1.43750 |
| 2004                         | 34.21       | 1.53417 |
| 2005                         | 36.36       | 1.56064 |
| 2006                         | 41.46       | 1.61764 |
| 2007                         | 36.72       | 1.56491 |
| 2008                         | 31.59       | 1.49951 |
| 2009                         | 26.72       | 1.42690 |
| 2010                         | 40.28       | 1.60509 |
| 2011                         | 28.84       | 1.46004 |
| 2012                         | 32.52       | 1.51212 |
| 2013                         | 33.06       | 1.51924 |

|      |       |         |
|------|-------|---------|
| 2014 | 38.96 | 1.59065 |
| 2015 | 38.66 | 1.58721 |
| 2016 | 33.36 | 1.52316 |
| 2017 | 48.72 | 1.68771 |
| 2018 | 29.69 | 1.47258 |
| 2019 | 48.20 | 1.68303 |
| 2020 | 39.14 | 1.59267 |
| 2021 | 36.39 | 1.56093 |

**Media (X)** 1.545

**Desv. Est. (S)** 0.071

**N° datos** 21

**Cálculos previos:**

**Kn** 2.408

**YH** 1.72

**YL** 1.37

$$y_H = X + (K_n) S$$

$$y_L = X - (K_n) S$$

**Resultados:**

**P<sub>max\_H</sub>** = 52.1 mm Límite máximo de datos no dudosos

**P<sub>min\_L</sub>** = 23.6 mm Límite mínimo de datos no dudosos

Nota: En la tabla 54 se puede apreciar los valores resultantes de las precipitaciones máximas de la cuenca Queuñamayo.

**Figura 87.** Cuadro de valores K para prueba de datos dudosos

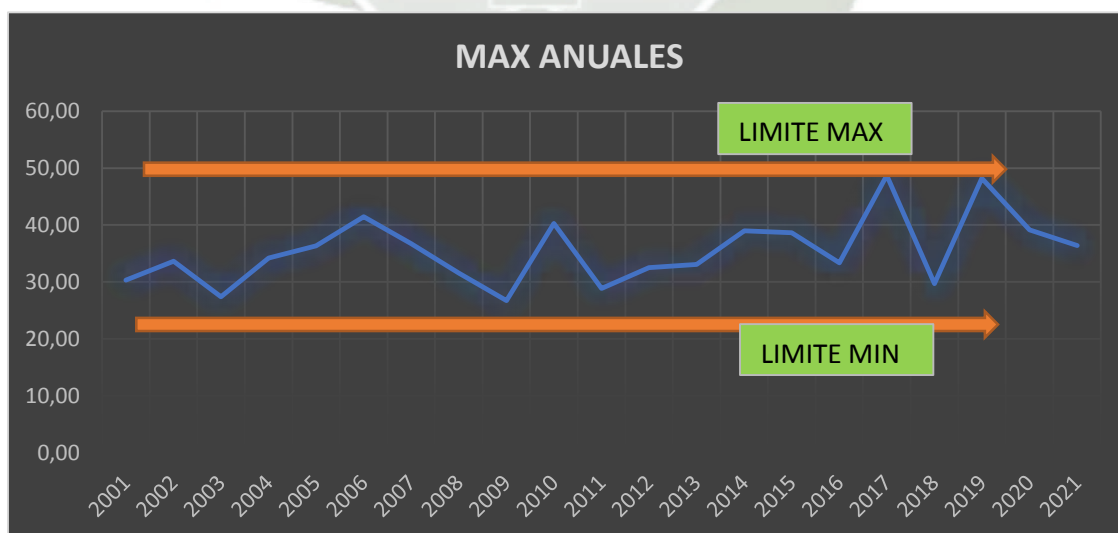
| Tamaño de muestra $n$ | $K_n$ | Tamaño de muestra $n$ | $K_n$ | Tamaño de muestra $n$ | $K_n$ | Tamaño de muestra $n$ | $K_n$ |
|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| 10                    | 2.036 | 24                    | 2.467 | 38                    | 2.661 | 60                    | 2.837 |
| 11                    | 2.088 | 25                    | 2.486 | 39                    | 2.671 | 65                    | 2.866 |
| 12                    | 2.134 | 26                    | 2.502 | 40                    | 2.682 | 70                    | 2.893 |
| 13                    | 2.175 | 27                    | 2.519 | 41                    | 2.692 | 75                    | 2.917 |
| 14                    | 2.213 | 28                    | 2.534 | 42                    | 2.700 | 80                    | 2.940 |
| 15                    | 2.247 | 29                    | 2.549 | 43                    | 2.710 | 85                    | 2.961 |
| 16                    | 2.279 | 30                    | 2.563 | 44                    | 2.719 | 90                    | 2.981 |
| 17                    | 2.309 | 31                    | 2.577 | 45                    | 2.727 | 95                    | 3.000 |
| 18                    | 2.335 | 32                    | 2.591 | 46                    | 2.736 | 100                   | 3.017 |
| 19                    | 2.361 | 33                    | 2.604 | 47                    | 2.744 | 110                   | 3.049 |
| 20                    | 2.385 | 34                    | 2.616 | 48                    | 2.753 | 120                   | 3.078 |
| 21                    | 2.408 | 35                    | 2.628 | 49                    | 2.760 | 130                   | 3.104 |
| 22                    | 2.429 | 36                    | 2.639 | 50                    | 2.768 | 140                   | 3.129 |
| 23                    | 2.448 | 37                    | 2.650 | 55                    | 2.804 |                       |       |

*Fuente:* U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de  $K_n$  de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Nota: En la figura 87, se observa los valores que se asignan para la prueba de datos dudosos, datos obtenidos de (CHOW, 1964)

Calculado los máximos anuales en global, se procederá a realizar una prueba estadística para verificar si los datos están dentro del margen superior e inferior.

**Figura 88.** Máximos anuales



Nota: En la figura 88, se observa el gráfico representativo de los máximos anuales, el límite máximo y límite mínimo.

Todos los datos están dentro del rango superior e inferior de datos dudosos, por ende, no se omite ningún dato y todos ingresan a la prueba de bondad de ajuste.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda corregir las mediciones diarias de P.max por un factor que depende del número de observaciones realizadas durante el período de medición de lluvia para obtener un aumento más realista de Pmax 24 hr. Estos factores de ajuste se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 55.** Número de unidades de observación vs Factor de ajuste

| Número de Unidades de Observación | 1    | 2    | 3 a 4 | 5 a 8 | 9 a 24 | > 24 |
|-----------------------------------|------|------|-------|-------|--------|------|
| Factor de Ajuste                  | 1.13 | 1.04 | 1.03  | 1.02  | 1.01   | 1.00 |

Nota: En la tabla 55 se puede apreciar los valores para número de unidades de observación y los valores de factor de ajuste.

En el Perú, los valores de Pmax\_24h por lo general se obtienen en las estaciones para intervalos fijos de tiempo, usualmente de 7:00 am a 7:00 am del día siguiente, por ende, existe un solo intervalo de medición correspondiente a un factor de ajuste de **1.13**.

**Tabla 56.** Precipitación máxima en cuenca Queuñamayo

| PRECIP MAX CUENCA QUEUÑAMAYO |                      |                    |
|------------------------------|----------------------|--------------------|
| AÑO                          | P MAX 24 H<br>MEDIDO | P MAX 24 H<br>REAL |
| 2001                         | 30.35                | 34.29              |
| 2002                         | 33.62                | 37.99              |
| 2003                         | 27.38                | 30.94              |
| 2004                         | 34.21                | 38.66              |
| 2005                         | 36.36                | 41.09              |
| 2006                         | 41.46                | 46.85              |
| 2007                         | 36.72                | 41.49              |

|               |       |       |
|---------------|-------|-------|
| 2008          | 31.59 | 35.69 |
| 2009          | 26.72 | 30.20 |
| 2010          | 40.28 | 45.52 |
| 2011          | 28.84 | 32.59 |
| 2012          | 32.52 | 36.75 |
| 2013          | 33.06 | 37.35 |
| 2014          | 38.96 | 44.03 |
| 2015          | 38.66 | 43.68 |
| 2016          | 33.36 | 37.69 |
| 2017          | 48.72 | 55.05 |
| 2018          | 29.69 | 33.55 |
| 2019          | 48.20 | 54.46 |
| 2020          | 39.14 | 44.23 |
| 2021          | 36.39 | 41.12 |
| <b>MEDIA</b>  | 35.53 | 40.15 |
| <b>DES.ES</b> | 6.00  | 6.78  |
| <b>T</b>      |       |       |
| <b>MAX</b>    | 48.72 | 55.05 |
| <b>MIN</b>    | 26.72 | 30.20 |

Nota: En la tabla 56 se puede observar cómo se formaron las nuevas precipitaciones máximas, corregidas por el factor 1.13.

Para realizar el análisis estadístico de distribuciones, es necesario con anterioridad realizar la prueba de **SMIRNOV KOLMOGOROV**. Este procedimiento ayudará a encontrar el mejor método estadístico para emplearlo como base en el cálculo del caudal máximo.

**Tabla 57.** Estación y promedio (P.max, P)

| Estación: | PROMEDIO |       |
|-----------|----------|-------|
| 1         | 30.2     | 0.045 |
| 2         | 30.9     | 0.091 |
| 3         | 32.6     | 0.136 |
| 4         | 33.5     | 0.182 |
| 5         | 34.3     | 0.227 |
| 6         | 35.7     | 0.273 |
| 7         | 36.7     | 0.318 |
| 8         | 37.4     | 0.364 |
| 9         | 37.7     | 0.409 |
| 10        | 38.0     | 0.455 |
| 11        | 38.7     | 0.500 |
| 12        | 41.1     | 0.545 |
| 13        | 41.1     | 0.591 |
| 14        | 41.5     | 0.636 |
| 15        | 43.7     | 0.682 |
| 16        | 44.0     | 0.727 |
| 17        | 44.2     | 0.773 |
| 18        | 45.5     | 0.818 |
| 19        | 46.9     | 0.864 |
| 20        | 54.5     | 0.909 |

Nota: En la tabla 57 se puede apreciar los resultados para estación y promedio (P.max, P)

**Tabla 58. Distribución Normal**

| DISTRIBUCIÓN NORMAL: |       |       | Estación: | PROMEDIO |       |
|----------------------|-------|-------|-----------|----------|-------|
| 1                    | 30.20 | 0.045 | -1.468    | 0.071    | 0.026 |
| 2                    | 30.94 | 0.091 | -1.358    | 0.087    | 0.004 |
| 3                    | 32.59 | 0.136 | -1.115    | 0.132    | 0.004 |
| 4                    | 33.55 | 0.182 | -0.974    | 0.165    | 0.017 |
| 5                    | 34.29 | 0.227 | -0.864    | 0.194    | 0.034 |
| 6                    | 35.69 | 0.273 | -0.658    | 0.255    | 0.017 |
| 7                    | 36.75 | 0.318 | -0.503    | 0.308    | 0.011 |
| 8                    | 37.35 | 0.364 | -0.413    | 0.340    | 0.024 |
| 9                    | 37.69 | 0.409 | -0.363    | 0.358    | 0.051 |
| 10                   | 37.99 | 0.455 | -0.319    | 0.375    | 0.079 |
| 11                   | 38.66 | 0.500 | -0.221    | 0.413    | 0.087 |
| 12                   | 41.09 | 0.545 | 0.138     | 0.555    | 0.009 |
| 13                   | 41.12 | 0.591 | 0.142     | 0.556    | 0.035 |
| 14                   | 41.49 | 0.636 | 0.198     | 0.578    | 0.058 |
| 15                   | 43.68 | 0.682 | 0.520     | 0.698    | 0.017 |
| 16                   | 44.03 | 0.727 | 0.571     | 0.716    | 0.011 |
| 17                   | 44.23 | 0.773 | 0.602     | 0.726    | 0.046 |
| 18                   | 45.52 | 0.818 | 0.791     | 0.786    | 0.033 |
| 19                   | 46.85 | 0.864 | 0.988     | 0.838    | 0.025 |
| 20                   | 54.46 | 0.909 | 2.110     | 0.983    | 0.073 |
| 21                   | 55.05 | 0.955 | 2.197     | 0.986    | 0.031 |

**N = 21**
**Nº de Datos**
**X = 40.2**
**mm**
**Media**
**S = 6.8**
**mm**
**Desviación Estándar**
**Del Análisis obtenemos que:**

|                                                             |                              |                                                                 |          |                 |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------|-----------------|
| <b>Dc =</b>                                                 | <b>0.087</b>                 | <b>Estadístico de Smirnov-Kolmogorov (mayor valor de  F(Z)-</b> |          |                 |
|                                                             |                              | <b>P(Q) )</b>                                                   |          |                 |
| <b>De Tabla para el Nro. de Datos y <math>\alpha</math></b> | <b><math>\alpha =</math></b> | <b>5</b>                                                        | <b>%</b> | <b>Nivel de</b> |
| <b>considerados:</b>                                        |                              |                                                                 |          |                 |
| <b>Dt =</b>                                                 | <b>0.297</b>                 | <b>Significancia</b>                                            |          |                 |

Nota: En la tabla 58 se puede apreciar los resultados de la distribución normal

Como  $D_c < D_t$ , entonces el Registro de Precipitaciones SI se ajusta a la Distribución Pearson III para el nivel de significancia dado.

**Tabla 59.** Distribución LogNormal II

| <b>DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL II</b> |      |      |        | <b>Estación:</b> | <b>PROMEDIO</b> |
|-----------------------------------|------|------|--------|------------------|-----------------|
| <b>PARÁMETROS:</b>                |      |      |        |                  |                 |
| 1                                 | 3.41 | 0.05 | -1.653 | 0.03             | 0.0172          |
| 2                                 | 3.43 | 0.09 | -1.505 | 0.10             | 0.0060          |
| 3                                 | 3.48 | 0.14 | -1.189 | 0.11             | 0.0259          |
| 4                                 | 3.51 | 0.18 | -1.014 | 0.14             | 0.0413          |
| 5                                 | 3.53 | 0.23 | -0.880 | 0.18             | 0.0436          |
| 6                                 | 3.57 | 0.27 | -0.637 | 0.21             | 0.0606          |
| 7                                 | 3.60 | 0.32 | -0.460 | 0.36             | 0.0393          |
| 8                                 | 3.62 | 0.36 | -0.360 | 0.39             | 0.0246          |
| 9                                 | 3.63 | 0.41 | -0.305 | 0.40             | 0.0108          |
| 10                                | 3.64 | 0.45 | -0.257 | 0.40             | 0.0562          |
| 11                                | 3.65 | 0.50 | -0.151 | 0.42             | 0.0796          |
| 12                                | 3.72 | 0.55 | 0.219  | 0.58             | 0.0312          |
| 13                                | 3.72 | 0.59 | 0.223  | 0.58             | 0.0086          |
| 14                                | 3.73 | 0.64 | 0.279  | 0.67             | 0.0362          |
| 15                                | 3.78 | 0.68 | 0.591  | 0.73             | 0.0522          |
| 16                                | 3.78 | 0.73 | 0.640  | 0.76             | 0.0305          |

|    |      |      |       |      |        |
|----|------|------|-------|------|--------|
| 17 | 3.79 | 0.77 | 0.668 | 0.80 | 0.0295 |
| 18 | 3.82 | 0.82 | 0.842 | 0.85 | 0.0321 |
| 19 | 3.85 | 0.86 | 1.017 | 0.89 | 0.0238 |
| 20 | 4.00 | 0.91 | 1.933 | 0.90 | 0.0127 |
| 21 | 4.01 | 0.95 | 1.999 | 0.98 | 0.0248 |

**N = 21**

Nº de

Datos

**X = 3.680**

mm

Media

**S = 0.164**

mm

Desviación Estándar

Del Análisis obtenemos que:

**Dc =**

**0.080**

**Estadístico de Smirnov-Kolmogorov (mayor valor de  
|F(Z)- P(Q)|)**

De Tabla para el Nro. de Datos y  $\alpha$  considerados:

**$\alpha = 5$**

**% Nivel de**

**Dt =**

**0.297**

**Significancia**

Nota: En la tabla 60 se puede apreciar los resultados de la distribución LogNormal II

Como  $D_c < D_t$ , entonces el Registro de Precipitaciones SI se ajusta a la Distribución Pearson III para el nivel de significancia dado.

**Tabla 60.** Distribución Gumbel (extrema tipo I)

| DISTRIBUCIÓN GUMBEL (EXTREMA |    |       | Estación: | PROMEDIO |
|------------------------------|----|-------|-----------|----------|
| TIPO I):                     |    |       |           |          |
| 1                            | 30 | 0.045 | 0.025     | 0.021    |
| 2                            | 31 | 0.091 | 0.041     | 0.050    |
| 3                            | 33 | 0.136 | 0.096     | 0.041    |
| 4                            | 34 | 0.182 | 0.141     | 0.041    |
| 5                            | 34 | 0.227 | 0.182     | 0.045    |
| 6                            | 36 | 0.273 | 0.271     | 0.002    |

|                                                                                                      |    |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------|-------|-------|
| 7                                                                                                    | 37 | 0.318 | 0.343 | 0.025 |
| 8                                                                                                    | 37 | 0.364 | 0.385 | 0.022 |
| 9                                                                                                    | 38 | 0.409 | 0.409 | 0.000 |
| 10                                                                                                   | 38 | 0.455 | 0.430 | 0.025 |
| 11                                                                                                   | 39 | 0.500 | 0.475 | 0.025 |
| 12                                                                                                   | 41 | 0.545 | 0.625 | 0.079 |
| 13                                                                                                   | 41 | 0.591 | 0.626 | 0.035 |
| 14                                                                                                   | 41 | 0.636 | 0.647 | 0.010 |
| 15                                                                                                   | 44 | 0.682 | 0.750 | 0.068 |
| 16                                                                                                   | 44 | 0.727 | 0.764 | 0.036 |
| 17                                                                                                   | 44 | 0.773 | 0.771 | 0.001 |
| 18                                                                                                   | 46 | 0.818 | 0.816 | 0.002 |
| 19                                                                                                   | 47 | 0.864 | 0.854 | 0.010 |
| 20                                                                                                   | 54 | 0.909 | 0.963 | 0.054 |
| 21                                                                                                   | 55 | 0.955 | 0.967 | 0.012 |
| <div> <div>N = 21</div> <div>N° de Datos</div> <div>μy = 0.50576</div> </div>                        |    |       |       |       |
| <div> <div>X = 38.5</div> <div>mm</div> <div>Media</div> <div>σy = 0.9922</div> </div>               |    |       |       |       |
| <div> <div>S = 6.9</div> <div>mm</div> <div>Desviación Estándar</div> <div>α = 0.17271</div> </div>  |    |       |       |       |
| <div> <div>Del Análisis obtenemos que:</div> <div>β = 24.7171</div> <div>9</div> </div>              |    |       |       |       |
| <div> <div>Dc = 0.079</div> <div>Estadístico de Smirnov-Kolmogorov</div> </div>                      |    |       |       |       |
| <div> <div>De Tabla para el Nro. de Datos y α considerados:</div> <div>α = 5 % Nivel de</div> </div> |    |       |       |       |
| <div> <div>Dt = 0.297</div> <div>Significancia</div> </div>                                          |    |       |       |       |

Nota: En la tabla 60 se puede apreciar los resultados de la distribución Gumbel

Como  $D_c < D_t$ , entonces el Registro de Precipitaciones si se ajusta a la Distribución Pearson III para el nivel de significancia dado.

**Tabla 61.** Distribución Pearson III

| DISTRIBUCIÓN PEARSON III: |      |       | Estación: | PROMEDIO |       |
|---------------------------|------|-------|-----------|----------|-------|
| 1                         | 30.2 | 0.045 | 13.575    | 0.042    | 0.003 |
| 2                         | 30.9 | 0.091 | 16.414    | 0.061    | 0.030 |
| 3                         | 32.6 | 0.136 | 16.794    | 0.118    | 0.019 |
| 4                         | 33.5 | 0.182 | 17.543    | 0.160    | 0.022 |
| 5                         | 34.3 | 0.227 | 18.483    | 0.197    | 0.030 |
| 6                         | 35.7 | 0.273 | 19.044    | 0.276    | 0.003 |
| 7                         | 36.7 | 0.318 | 21.566    | 0.339    | 0.021 |
| 8                         | 37.4 | 0.364 | 22.065    | 0.376    | 0.013 |
| 9                         | 37.7 | 0.409 | 22.228    | 0.397    | 0.012 |
| 10                        | 38.0 | 0.455 | 22.228    | 0.416    | 0.038 |
| 11                        | 38.7 | 0.500 | 22.585    | 0.457    | 0.043 |
| 12                        | 41.1 | 0.545 | 25.189    | 0.600    | 0.055 |
| 13                        | 41.1 | 0.591 | 25.288    | 0.602    | 0.011 |
| 14                        | 41.5 | 0.636 | 26.989    | 0.622    | 0.014 |
| 15                        | 43.7 | 0.682 | 28.314    | 0.728    | 0.047 |
| 16                        | 44.0 | 0.727 | 28.885    | 0.743    | 0.016 |
| 17                        | 44.2 | 0.773 | 30.067    | 0.752    | 0.021 |
| 18                        | 45.5 | 0.818 | 31.605    | 0.800    | 0.018 |
| 19                        | 46.9 | 0.864 | 33.099    | 0.843    | 0.021 |
| 20                        | 54.5 | 0.909 | 33.523    | 0.968    | 0.059 |
| 21                        | 55.1 | 0.955 | 41.051    | 0.972    | 0.017 |

**N = 21**
**N° de Datos**
**Ag =**
**X = 38.5**
**mm**
**Medi**
**δ =**
**a**
**S = 6.9**
**mm**
**Desviación Estándar**
**β =**
**Del Análisis obtenemos que:**
**X0 =**

|                                                                           |                              |                                   |                      |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| <b>Dc =</b>                                                               | <b>0.059</b>                 | Estadístico de Smirnov-Kolmogorov | <b>GDL =</b>         |
| <b>De Tabla para el Nro. de Datos y <math>\alpha</math> considerados:</b> | <b><math>\alpha =</math></b> | <b>% Nivel de</b>                 | <b>% Nivel de</b>    |
| <b>Dt =</b>                                                               | <b>0.297</b>                 |                                   | <b>Significancia</b> |

Nota: En la tabla 61 se puede apreciar los resultados de la distribución Pearson III

Como  $D_c < D_t$ , entonces el Registro de Precipitaciones SI se ajusta a la Distribución Pearson III para el nivel de significancia dado.

**Tabla 62.** Distribución LogPearson III

| DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III: |       |       | Estación: | PROMEDIO |       |
|-------------------------------|-------|-------|-----------|----------|-------|
| 1                             | 3.408 | 0.045 | 1.791     | 0.038    | 0.007 |
| 2                             | 3.432 | 0.091 | 1.889     | 0.056    | 0.035 |
| 3                             | 3.484 | 0.136 | 1.902     | 0.111    | 0.025 |
| 4                             | 3.513 | 0.182 | 1.926     | 0.154    | 0.028 |
| 5                             | 3.535 | 0.227 | 1.955     | 0.192    | 0.035 |
| 6                             | 3.575 | 0.273 | 1.973     | 0.273    | 0.000 |
| 7                             | 3.604 | 0.318 | 2.046     | 0.338    | 0.020 |
| 8                             | 3.620 | 0.364 | 2.060     | 0.377    | 0.013 |
| 9                             | 3.629 | 0.409 | 2.065     | 0.399    | 0.010 |
| 10                            | 3.637 | 0.455 | 2.065     | 0.418    | 0.036 |
| 11                            | 3.655 | 0.500 | 2.075     | 0.461    | 0.039 |
| 12                            | 3.716 | 0.545 | 2.143     | 0.607    | 0.061 |
| 13                            | 3.716 | 0.591 | 2.146     | 0.608    | 0.017 |
| 14                            | 3.726 | 0.636 | 2.188     | 0.629    | 0.007 |
| 15                            | 3.777 | 0.682 | 2.220     | 0.735    | 0.053 |
| 16                            | 3.785 | 0.727 | 2.234     | 0.749    | 0.022 |
| 17                            | 3.789 | 0.773 | 2.261     | 0.758    | 0.015 |
| 18                            | 3.818 | 0.818 | 2.295     | 0.805    | 0.013 |
| 19                            | 3.847 | 0.864 | 2.327     | 0.846    | 0.018 |

|    |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 3.998 | 0.909 | 2.336 | 0.965 | 0.056 |
| 21 | 4.008 | 0.955 | 2.484 | 0.969 | 0.015 |

|           |    |                     |      |
|-----------|----|---------------------|------|
| N = 21    |    | N° de Datos         | Ag = |
| X = 1.433 | mm | Media               | δ =  |
| S = 0.122 | mm | Desviación Estándar | β =  |

Del Análisis obtenemos que:

|            |                                   |       |
|------------|-----------------------------------|-------|
| Dc = 0.061 | Estadístico de Smirnov-Kolmogorov | GDL = |
|------------|-----------------------------------|-------|

De Tabla para el Nro. de Datos y  $\alpha$   $\alpha = 5$  % Nivel de  
considerados:

|            |               |
|------------|---------------|
| Dt = 0.297 | Significancia |
|------------|---------------|

Nota: En la tabla 62 se puede apreciar los resultados de la distribución LogPearson III

Como  $D_c < D_t$ , entonces el Registro de Precipitaciones SI se ajusta a la Distribución Pearson III para el nivel de significancia dado.

**Tabla 63.** Prueba de bondad de ajuste Smirnov- Kolmogorov

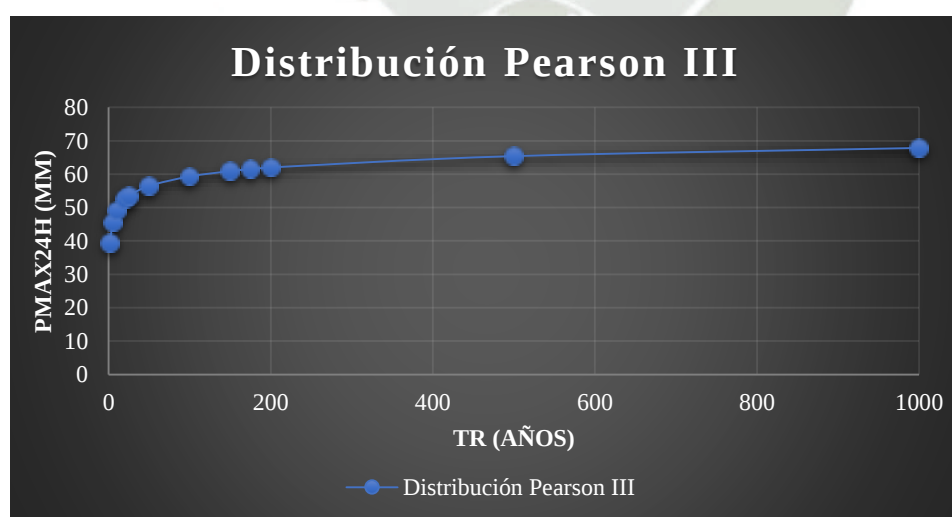
| Función Probabilística | Prueba: Smirnov-Kolmogorov |       |             |              |
|------------------------|----------------------------|-------|-------------|--------------|
|                        | Dc                         | Dt    | ¿Se ajusta? | Orden Ajuste |
| Normal                 | 0.087                      | 0.297 | SI          | 5            |
| Log Normal II          | 0.080                      | 0.297 | SI          | 4            |
| Gumbel (EVI)           | 0.079                      | 0.297 | SI          | 3            |
| <u>Pearson III</u>     | 0.059                      | 0.297 | SI          | 1            |
| Log Pearson III        | 0.061                      | 0.297 | SI          | 2            |

Nota: En la tabla 63 se puede apreciar el valor de la prueba de bondad de ajuste, en la cual se elige Pearson III, ya que posee el menor Dc a pesar de que todos se ajusten. Por ende, es la que más se asemeja a la realidad.

**Tabla 64.** Distribución elegido tipo Pearson III

| SEGÚN DISTRIBUCIÓN PEARSON III: |       |       |       |        |              |
|---------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| ELEGIDA                         |       |       |       |        |              |
| Tr (años)                       | P     | W     | Z     | K      | Pmax24h (mm) |
| 2                               | 0.500 | 1.177 | 0.000 | -0.038 | 39.4         |
| 5                               | 0.200 | 1.794 | 0.841 | 0.828  | 45.5         |
| 10                              | 0.100 | 2.146 | 1.282 | 1.303  | 49.2         |
| 20                              | 0.050 | 2.448 | 1.645 | 1.707  | 52.5         |
| 25                              | 0.040 | 2.537 | 1.751 | 1.826  | 53.5         |
| 50                              | 0.020 | 2.797 | 2.054 | 2.174  | 56.5         |
| 100                             | 0.010 | 3.035 | 2.327 | 2.492  | 59.3         |
| 150                             | 0.007 | 3.166 | 2.475 | 2.668  | 60.9         |
| 175                             | 0.006 | 3.214 | 2.530 | 2.734  | 61.5         |
| 200                             | 0.005 | 3.255 | 2.576 | 2.789  | 62.0         |
| 500                             | 0.002 | 3.526 | 2.879 | 3.156  | 65.4         |
| 1000                            | 0.001 | 3.717 | 3.091 | 3.418  | 67.9         |

Nota: En la tabla 65 se puede apreciar los resultados según la distribución Pearson III

**Figura 89.** Gráfico de distribución Pearson III


Nota: En la figura 89, se aprecia el gráfico obtenido en la distribución Pearson III

**4.1.3.6. Determinación de la Intensidad y Curvas I-D-F.** El Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC propone que, si solo se conoce la  $P_{\max 24h}$ , las Intensidades Máximas con duraciones menores a 1 hora pueden ser determinadas a partir del método de Dick y Peschke; y para duraciones mayores o iguales a 1 hora puede emplearse la tabla propuesta de coeficientes de duración de lluvia que se muestra a continuación:

Donde:

$P_{\max 24h}$ : Precipitación máxima de 24h para cierto  $T_r$   
(mm).

t: Duración de la Lluvia (minutos).

Pt: Precipitación total caída en t minutos (mm).

**Figura 90.** Ejemplo de duración de la precipitación en horas

| Duración de la Precipitación en horas | Coefficiente |
|---------------------------------------|--------------|
| 1                                     | 0.25         |
| 2                                     | 0.31         |
| 3                                     | 0.38         |
| 4                                     | 0.44         |
| 5                                     | 0.50         |
| 6                                     | 0.56         |
| 8                                     | 0.64         |
| 10                                    | 0.73         |
| 12                                    | 0.79         |
| 14                                    | 0.83         |
| 16                                    | 0.87         |
| 18                                    | 0.90         |
| 20                                    | 0.93         |
| 22                                    | 0.97         |
| 24                                    | 1            |
| 48                                    | 1.32         |

En la figura 90, se aprecia un cuadro ejemplo de duración de la precipitación en horas.

Datos obtenidos de (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2015)

En la siguiente tabla se muestra los valores de las Precipitaciones Máximas, usando los métodos indicados según la duración de la lluvia:

**Tabla 65. Métodos según duración de lluvia**

Nota: En la tabla 65 se aprecia los valores correspondientes a los métodos según duración de lluvia

Luego se determina las Intensidades Máximas:

|                        | Tr (años)                | 2                            | 5  | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 | 500 |
|------------------------|--------------------------|------------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|
|                        | P <sub>max24h</sub> (mm) | 28                           | 46 | 49 | 51 | 52 | 54 | 56  | 60  |
|                        | Durac (min)              | Precipitaciones Máximas (mm) |    |    |    |    |    |     |     |
| Dick y Peschke         | 5                        | 7                            | 11 | 12 | 12 | 13 | 13 | 14  | 14  |
|                        | 10                       | 8                            | 13 | 14 | 15 | 15 | 16 | 16  | 17  |
|                        | 15                       | 9                            | 15 | 16 | 16 | 17 | 17 | 18  | 19  |
|                        | 30                       | 11                           | 17 | 19 | 19 | 20 | 21 | 21  | 23  |
| Coeficientes de Lluvia | 60                       | 7                            | 11 | 12 | 13 | 13 | 14 | 14  | 15  |
|                        | 120                      | 9                            | 14 | 15 | 16 | 16 | 17 | 17  | 18  |
|                        | 180                      | 11                           | 17 | 19 | 19 | 20 | 21 | 21  | 23  |
|                        | 240                      | 12                           | 20 | 21 | 23 | 23 | 24 | 25  | 26  |

Se busca una ecuación que pueda describir estadísticamente a las tres variables involucradas (I, Tr y t), utilizando una regresión lineal múltiple para determinar K, m y n.

$$\text{Log} (I) = \text{Log} (K) + m \text{Log} (T) - n \text{Log} (t) \quad (\text{Ec. 4.21})$$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \quad (\text{Ec. 4.22})$$

$$I = \frac{KT_r^m}{t^n} \quad (\text{Ec. 4.23})$$

k: 82.8261

m: 0.0192

n: 0.445

Donde I: Intensidad máxima (mm/hr)

Tr: Periodo de retorno (años)

t: Duración de la lluvia (minutos)

**Figura 91.** Cálculo de ecuaciones de regresión múltiple

**Cálculos con ecuaciones de Regresión Múltiple, con 2 variables independientes**

**Ingreso de los tríos de datos:**  
**Nota:** Una vez que digite el dato, presionar ENTER

| Trío | X1  | X2    | Y     |
|------|-----|-------|-------|
| 1    | 2.0 | 5.0   | 115.0 |
| 2    | 2.0 | 10.0  | 68.0  |
| 3    | 2.0 | 15.0  | 50.0  |
| 4    | 2.0 | 30.0  | 30.0  |
| 5    | 2.0 | 60.0  | 10.0  |
| 6    | 2.0 | 120.0 | 6.0   |
| 7    | 2.0 | 180.0 | 5.0   |
| 8    | 2.0 | 240.0 | 4.0   |
| 9    | 5.0 | 5.0   | 133.0 |
| 10   | 5.0 | 10.0  | 79.0  |
| 11   | 5.0 | 15.0  | 58.0  |
| 12   | 5.0 | 30.0  | 35.0  |
| 13   | 5.0 | 60.0  | 11.0  |
| 14   | 5.0 | 120.0 | 7.0   |

**Aplicar ecuación:**

Correlación lineal múltiple

Valor de X1:

Valor de X2:

Valor de Y:

☐ con correlación lineal múltiple

☐ con correlación potencial múltiple

**Limpiar datos**

| Correlación        | Ecuación                                        | R      | R <sup>2</sup> | Se      |
|--------------------|-------------------------------------------------|--------|----------------|---------|
| Lineal Múltiple    | $Y = 82.8261 + 0.0192 * X1 - 0.4445 * X2$       | 0.7101 | 0.5042         | 37.7922 |
| Potencial Múltiple | $Y = 534.6732 * X1^{(0.0033)} * X2^{(-0.3047)}$ | 0.9918 | 0.9836         | 6.5993  |

**Archivos y resultados:**

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal

Crear Accesar Excel Reporte

21:27 23/06/2022

Nota: En la figura 91 se puede apreciar el cálculo de ecuaciones de regresión lineal simple, datos obtenidos del software Hidroesta 2.0.

Para la fórmula de la intensidad y la completación de datos respectiva, será de gran ayuda el software Hidroesta, con ello se podrá completar el cuadro de intensidades máximas en 24 horas y graficarlas en las curvas I-D-F.

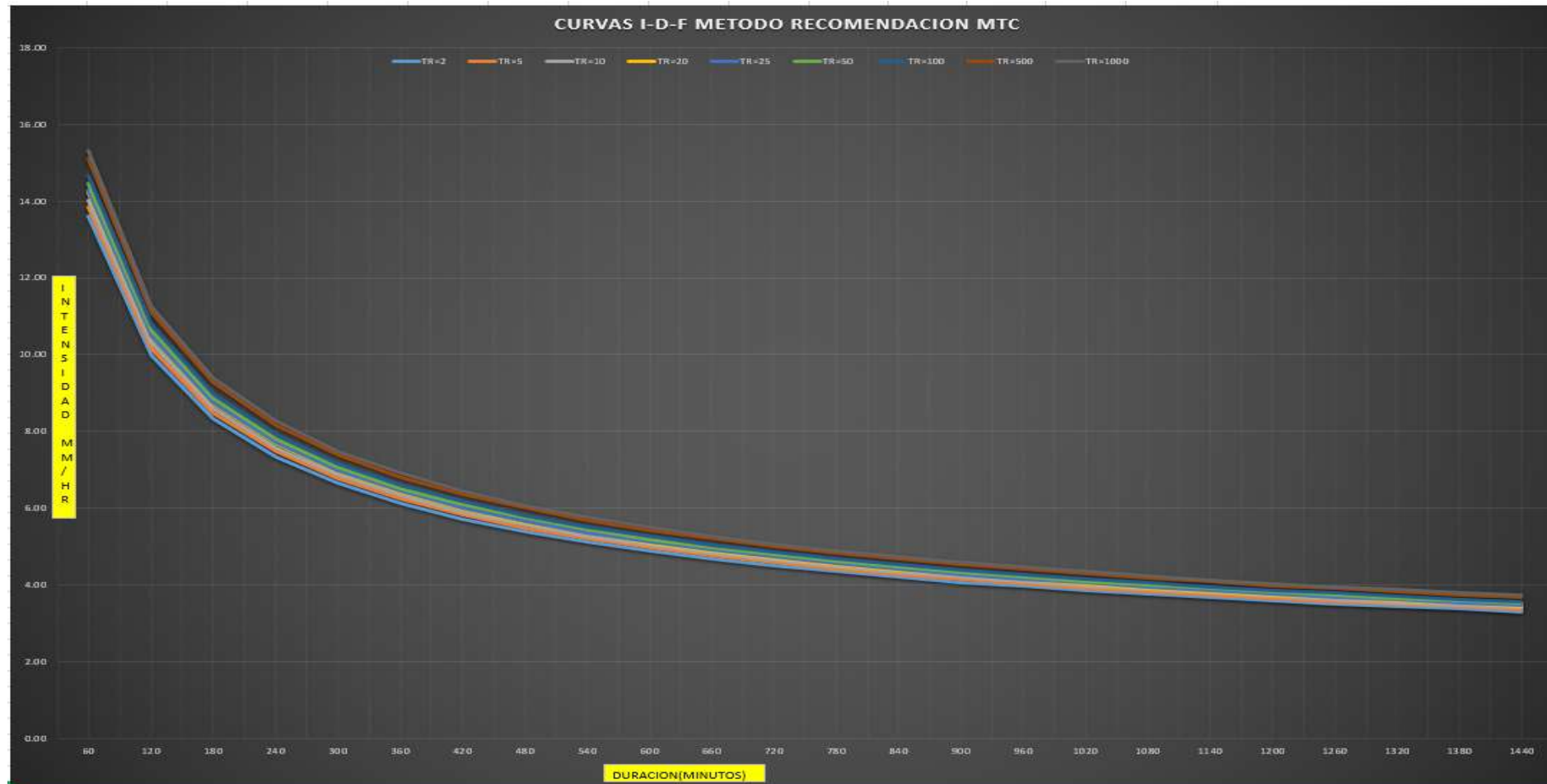
**Tabla 66.** Intensidades máximas

| INTENSIDADES MÁXIMAS (MM/HR) |           |
|------------------------------|-----------|
| Duración (min)               | Tr (años) |

|             | <b>Duración</b> | <b>2</b> | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>20</b> | <b>25</b> | <b>50</b> | <b>100</b> | <b>500</b> |
|-------------|-----------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
|             | <b>(hr)</b>     |          |          |           |           |           |           |            |            |
| <b>60</b>   | 1.00            | 10.57    | 11.88    | 12.97     | 14.17     | 14.58     | 15.92     | 17.39      | 21.34      |
| <b>120</b>  | 2.00            | 5.65     | 6.35     | 6.94      | 7.58      | 7.79      | 8.51      | 9.30       | 11.41      |
| <b>180</b>  | 3.00            | 3.92     | 4.40     | 4.81      | 5.25      | 5.40      | 5.90      | 6.45       | 7.91       |
| <b>240</b>  | 4.00            | 3.02     | 3.39     | 3.71      | 4.05      | 4.17      | 4.55      | 4.97       | 6.10       |
| <b>300</b>  | 5.0             | 2.47     | 2.77     | 3.03      | 3.31      | 3.41      | 3.72      | 4.06       | 4.99       |
| <b>360</b>  | 6               | 2.09     | 2.35     | 2.57      | 2.81      | 2.89      | 3.15      | 3.45       | 4.23       |
| <b>420</b>  | 7               | 1.82     | 2.05     | 2.24      | 2.44      | 2.51      | 2.74      | 3.00       | 3.68       |
| <b>480</b>  | 8               | 1.61     | 1.81     | 1.98      | 2.16      | 2.23      | 2.43      | 2.66       | 3.26       |
| <b>540</b>  | 9               | 1.45     | 1.63     | 1.78      | 1.95      | 2.00      | 2.19      | 2.39       | 2.93       |
| <b>600</b>  | 10              | 1.32     | 1.48     | 1.62      | 1.77      | 1.82      | 1.99      | 2.17       | 2.67       |
| <b>660</b>  | 11              | 1.21     | 1.36     | 1.49      | 1.62      | 1.67      | 1.82      | 1.99       | 2.45       |
| <b>720</b>  | 12              | 1.12     | 1.26     | 1.37      | 1.50      | 1.54      | 1.69      | 1.84       | 2.26       |
| <b>780</b>  | 13              | 1.04     | 1.17     | 1.28      | 1.40      | 1.44      | 1.57      | 1.71       | 2.10       |
| <b>840</b>  | 14              | 0.97     | 1.09     | 1.20      | 1.31      | 1.34      | 1.47      | 1.60       | 1.97       |
| <b>900</b>  | 15              | 0.92     | 1.03     | 1.12      | 1.23      | 1.26      | 1.38      | 1.51       | 1.85       |
| <b>960</b>  | 16              | 0.86     | 0.97     | 1.06      | 1.16      | 1.19      | 1.30      | 1.42       | 1.74       |
| <b>1020</b> | 17              | 0.82     | 0.92     | 1.00      | 1.10      | 1.13      | 1.23      | 1.34       | 1.65       |
| <b>1080</b> | 18              | 0.78     | 0.87     | 0.95      | 1.04      | 1.07      | 1.17      | 1.28       | 1.57       |
| <b>1140</b> | 19              | 0.74     | 0.83     | 0.91      | 0.99      | 1.02      | 1.11      | 1.22       | 1.49       |
| <b>1200</b> | 20              | 0.71     | 0.79     | 0.87      | 0.95      | 0.97      | 1.06      | 1.16       | 1.42       |
| <b>1260</b> | 21              | 0.68     | 0.76     | 0.83      | 0.91      | 0.93      | 1.02      | 1.11       | 1.36       |
| <b>1320</b> | 22              | 0.65     | 0.73     | 0.79      | 0.87      | 0.89      | 0.98      | 1.07       | 1.31       |
| <b>1380</b> | 23              | 0.62     | 0.70     | 0.76      | 0.83      | 0.86      | 0.94      | 1.02       | 1.26       |
| <b>1440</b> | 24              | 0.60     | 0.67     | 0.73      | 0.80      | 0.83      | 0.90      | 0.98       | 1.21       |

Nota: En la tabla 66, se puede apreciar el cálculo de intensidades máximas, para un tiempo de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 500 años.

**Figura 92.** Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)



Nota: En la figura 92, se puede observar el gráfico de intensidad, duración y frecuencia obtenido de las intensidades máximas. Imagen obtenida del software Excel.

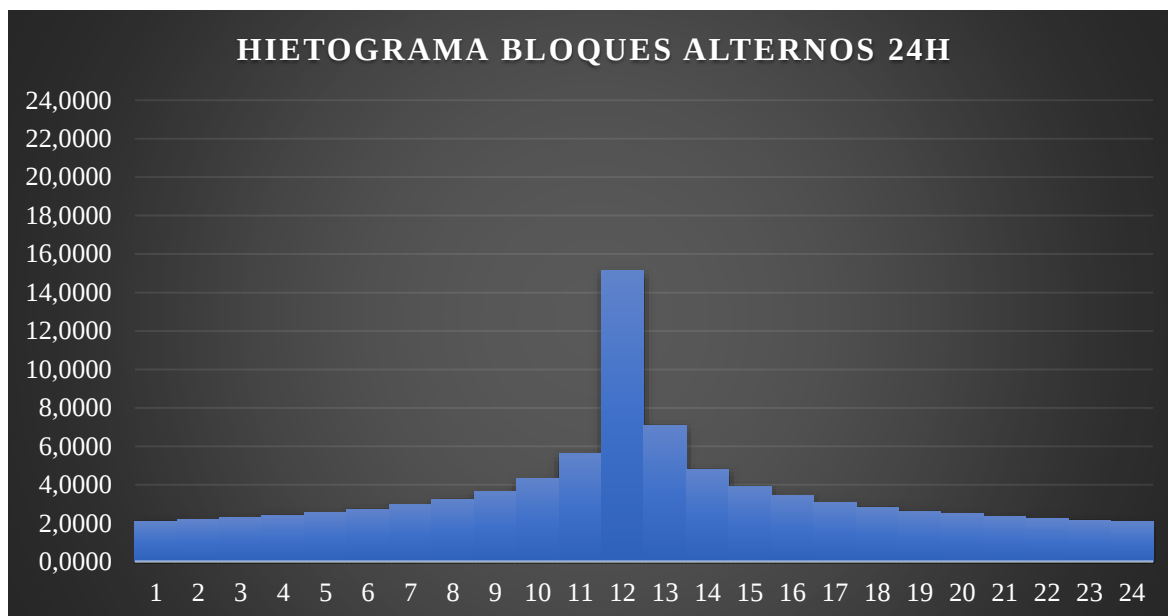
**Tabla 67.** Datos para el hietograma de bloques alternos

| Elaboración hietograma |             | Método bloques alternos |                             |
|------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| Precipitación          |             |                         |                             |
| HORAS                  | duración*tr | hietograma              | hietograma bloques alternos |
| 1                      | 15.3242     | 15.3242                 | 2.1332                      |
| 2                      | 22.5217     | 7.1975                  | 2.2234                      |
| 3                      | 28.2111     | 5.6894                  | 2.3272                      |
| 4                      | 33.0996     | 4.8886                  | 2.4487                      |
| 5                      | 37.4677     | 4.3680                  | 2.5935                      |
| 6                      | 41.4612     | 3.9935                  | 2.7705                      |
| 7                      | 45.1680     | 3.7068                  | 2.9940                      |
| 8                      | 48.6458     | 3.4778                  | 3.2893                      |
| 9                      | 51.9351     | 3.2893                  | 3.7068                      |
| 10                     | 55.0654     | 3.1304                  | 4.3680                      |
| 11                     | 58.0594     | 2.9940                  | 5.6894                      |
| 12                     | 60.9346     | 2.8752                  | 15.3242                     |
| 13                     | 63.7051     | 2.7705                  | 7.1975                      |
| 14                     | 66.3824     | 2.6773                  | 4.8886                      |
| 15                     | 68.9759     | 2.5935                  | 3.9935                      |
| 16                     | 71.4937     | 2.5177                  | 3.4778                      |
| 17                     | 73.9424     | 2.4487                  | 3.1304                      |
| 18                     | 76.3278     | 2.3855                  | 2.8752                      |
| 19                     | 78.6550     | 2.3272                  | 2.6773                      |
| 20                     | 80.9284     | 2.2734                  | 2.5177                      |
| 21                     | 83.1518     | 2.2234                  | 2.3855                      |
| 22                     | 85.3286     | 2.1768                  | 2.2734                      |
| 23                     | 87.4619     | 2.1332                  | 2.1768                      |
| 24                     | 89.5543     | 2.0924                  | 2.0924                      |

Nota: En la tabla 67 se observa los datos obtenidos para el hietograma de bloques alternos.

Los bloques alternos nos ayudarán para ver la distribución de la lluvia máxima dentro de esas 24 horas de lluvia máxima de manera referencial.

**Figura 93.** Hietograma de bloques alternos 24 h



Nota: En la figura 93, se aprecia el hietograma de bloques alternos para 24 horas

#### 4.1.3.7. Estimación del caudal máximo (método racional)

Muy útil y el más indicado para cuencas pequeñas menores a 10 km<sup>2</sup> en superficie.

$$Q = C I A / 3.6 \quad (\text{Ec. 4.24})$$

Donde:

Q= Caudal de escurrimiento en m<sup>3</sup>/s

C= Coeficiente de escorrentía

A= Área de la cuenca, en km<sup>2</sup>

I= Intensidad máxima en la precipitación, en mm/hr

$$C = 0.6$$

$$I = 29.061 \quad I = (82.8261 * Tr^{0.0192}) / t^{0.4445}$$

$$A = 4.42 \text{ km}^2$$

$$0 < C < 1$$

$$Q_{\max} = 21.41 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Tr \text{ (periodo de retorno)} = 500 \text{ años}$$

$$T = T_c \text{ (tiempo de concentración de Kirpich)} = 13.80 \text{ minutos}$$

$$T_c = 0.0195(L^{3/4}/H) \wedge 0.385$$

$$L \text{ max río principal} = 1956.3 \text{ m}$$

$$H \text{ max } 4495 \text{ msnm} \quad H \text{ min } 4193 \text{ msnm} \quad \text{Desnivel} = 302 \text{ m}$$

#### 4.1.4 Estudio de la topografía en el vaso de la cuenca.

Se realizó una visita a la población de Santo Tomás y especialmente a la cuenca de Queñamayo en el distrito de Santo Tomás en la provincia de Chumbivilcas, con la finalidad de recaudar información respecto al relieve del terreno en toda el área de intervención de la cuenca y su reconocimiento, además de realizar un levantamiento topográfico del vaso de la cuenca incluyendo el posible lugar de construcción del dique de tierra(eje).

**Figura 94.** Ubicación de la población de Santo Tomás



Nota: En la figura 94, se puede apreciar la ubicación de la población de Santo Tomás, imagen obtenida de Google Earth Pro, (2022).

**Figura 95.** Fotografía del vaso de la cuenca



Nota: En la figura 95, se puede apreciar la fotografía principal del vaso de la cuenca, lugar en donde se realiza la topografía de la zona.

**Figura 96.** Fotografía del vaso de la cuenca (ubicación del dique)



Nota: En la figura 96, se aprecia la fotografía del vaso de la cuenca, lugar en donde se ubicará el dique de la presa.

**Figura 97.** Fotografía del vaso de la cuenca (Presencia de sedimentos de roca)



Nota: En la figura 97 se puede observar los sedimentos de roca en el vaso de la cuenca en el vaso de la cuenca, lugar donde se realizará la topografía respectiva.

**Figura 98.** Vaso de la cuenca, afluente principal



Nota: En la figura 98, se puede observar el afluente principal en el vaso de la cuenca en el vaso de la cuenca.

**Figura 99.** Levantamiento topográfico de la zona del área del vaso de la cuenca



Nota: En la figura 98 se puede observar el levantamiento topográfico respectivo en el vaso de la cuenca.

**Figura 100.** Levantamiento topográfico de la zona del área de la cuenca

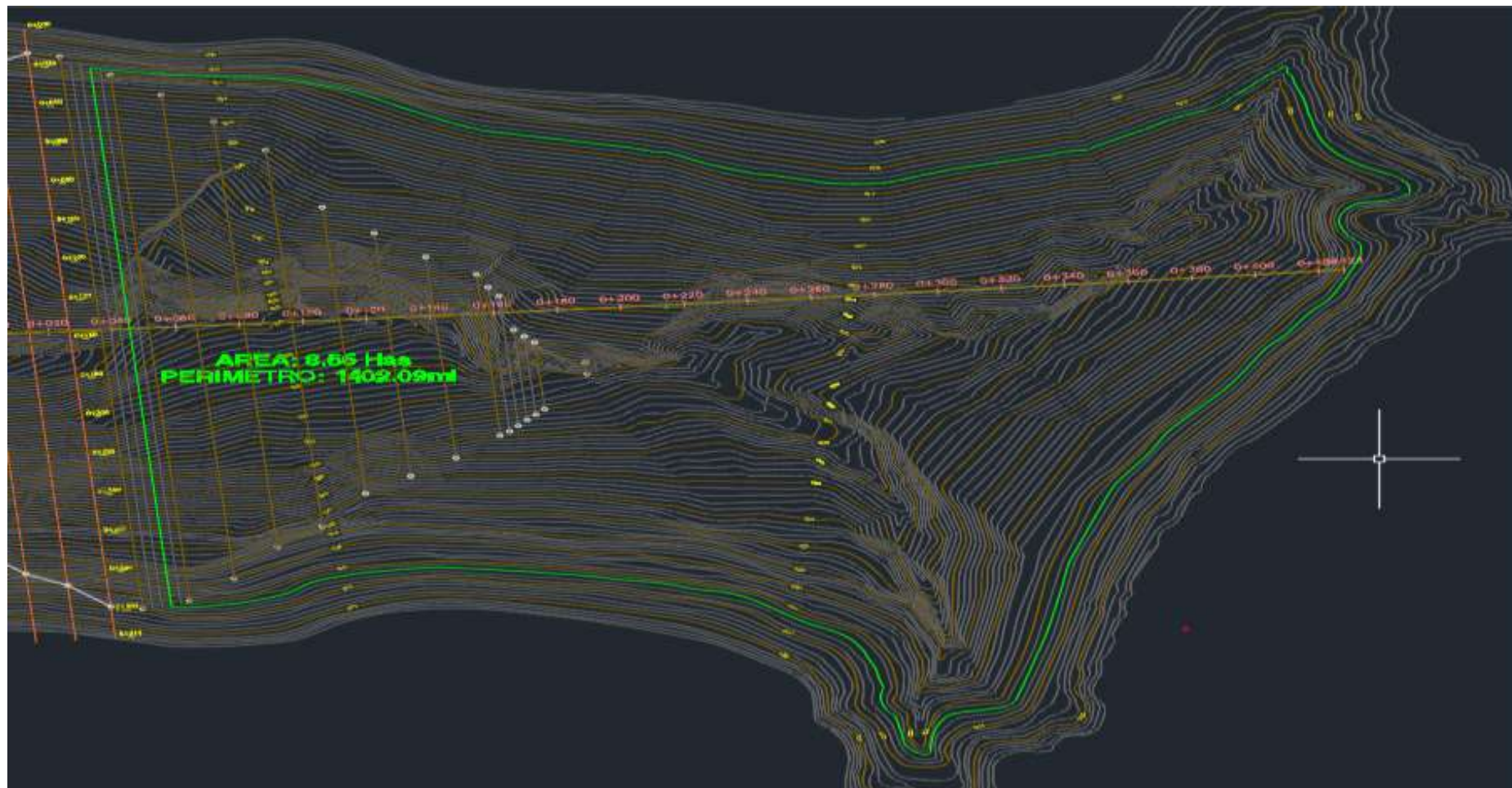


Nota: En la figura 100, se puede observar el levantamiento topográfico en un área del vaso de la cuenca.

**4.1.4.1. Conclusión del levantamiento topográfico.** En la realización del levantamiento topográfico a simple vista se pudo observar que se trata de un relieve topográfico accidentado, de fuertes pendientes y depresiones profundas intercaladas a lo largo y ancho de la cuenca y del vaso mismo, además que el relieve presenta vegetación tipo pastizal y sedimentación de rocas. La altura considerable de la cuenca que excede los como 4200 como mínimo, genera que la vegetación no sea muy variada y la fauna algo escasa, ya que no solamente por el clima sino por las fuertes pendientes hace que la vida en esos lugares sea compleja. Asimismo, no se observa civilizaciones ni comunidades locales cercanas ni aguas abajo del posible dique de tierra. Un lugar completamente recóndito, que se encuentra en la ruta entre los distritos de Santo Tomás y Velille.

Realizado el levantamiento topográfico in situ, se procedió, gracias a los datos tomados por una estación total, a elaborar en el civil 3D un plano del vaso de la cuenca, delimitándola y poder obtener sus parámetros básicos de área y perímetro del vaso de la cuenca, así como el eje de la posible presa de tierra.

**Figura 101.** Plano Topográfico del vaso de la cuenca



Nota: En la figura 101 se puede observar el plano topográfico del vaso de la cuenca. Imagen obtenida del software AutoCAD Civil 3D-Area 8.55 ha

#### 4.1.5. Estudio de Mecánica de Suelos (Hoja resumen)

**4.1.5.1. Memoria Descriptiva.** El presente estudio corresponde a las características que presenta el suelo de la zona donde se realizará el proyecto diseño de presa de tierra, el cual en encuentra ubicado en el distrito de Santo Tomas, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco.

El objetivo del presente estudio es determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, de tal forma de poder realizar el diseño de la presa de tierra según lo establecido en la Norma Peruana.

**4.1.5.2. Ensayos de Laboratorio.** En el Laboratorio, se han realizado los ensayos requeridos en el diseño de: de Densidad Natural, análisis granulométrico, límites de consistencia, permeabilidad y finalmente el ensayo de corte directo, con lo cual se obtiene los parámetros de resistencia.

Es por ello que, se realizó la excavación de 12 calicatas y se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 68.** Datos resultantes de la excavación de las calicatas

| calicata | capa | tamaño | descripción      | clasificación   |
|----------|------|--------|------------------|-----------------|
| 1        | 1    | 0.2    | compacta estable | orgánico        |
|          | 2    | 2.8    |                  | arena arcillosa |
| 2        | 1    | 0.2    | compacta estable | orgánico        |
|          | 2    | 2.8    |                  | arena arcillosa |
| 3        | 1    | 0.2    | compacta estable | orgánico        |
|          | 2    | 2.8    |                  | arcilla arenosa |
| 4        | 1    | 0.2    | compacta estable | orgánico        |
|          | 2    | 2.8    |                  | arena arcillosa |

|    |   |     |                  |                 |
|----|---|-----|------------------|-----------------|
| 5  | 1 | 0.4 | compacta estable | orgánico        |
|    | 2 | 2.6 |                  | arena arcillosa |
| 6  | 1 | 0.4 | compacta estable | orgánico        |
|    | 2 | 2.6 |                  | arena arcillosa |
| 7  | 1 | 0.4 | compacta estable | orgánico        |
|    | 2 | 2.6 |                  | arena arcillosa |
| 8  | 1 | 0.4 | compacta estable | orgánico        |
|    | 2 | 2.6 |                  | arena arcillosa |
| 9  | 1 | 0.4 | compacta estable | orgánico        |
|    | 2 | 2.6 |                  | arena arcillosa |
| 10 | 1 | 0.4 | compacta estable | orgánico        |
|    | 2 | 2.6 |                  | arena arcillosa |
| 11 | 1 | 0.4 | compacta estable | orgánico        |
|    | 2 | 2.6 |                  | arena arcillosa |
| 12 | 1 | 0.4 | compacta estable | orgánico        |
|    | 2 | 2.6 |                  | arena arcillosa |

Nota: En la tabla 68, se puede apreciar los datos obtenidos en cuanto a los resultados arrojados en la excavación de las calicatas.

Del mismo modo, se realizó un ensayo granulométrico de límites de consistencia de calicatas.

**Tabla 69. Análisis granulométrico**

| calicata | Tamiz | % pasante<br>acumulado | Límites de Consistencia<br>NTP 339.129 |                          |
|----------|-------|------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
|          |       |                        | Límite<br>Líquido                      | Índice de<br>Plasticidad |
| 1        | Nº4   | 83                     | 30.41%                                 | 10.23%                   |
|          | Nº200 | 22                     |                                        |                          |
| 2        | Nº4   | 80                     | 30.41%                                 | 10.34%                   |

|           |       |    |        |        |
|-----------|-------|----|--------|--------|
|           | N°200 | 21 |        |        |
| <b>3</b>  | N°4   | 88 | 31.23% | 10.68% |
|           | N°200 | 24 |        |        |
| <b>4</b>  | N°4   | 85 | 32.44% | 11.80% |
|           | N°200 | 26 |        |        |
| <b>5</b>  | N°4   | 90 | 33.84% | 10.59% |
|           | N°200 | 28 |        |        |
| <b>6</b>  | N°4   | 81 | 37.18% | 13.14% |
|           | N°200 | 20 |        |        |
| <b>7</b>  | N°4   | 83 | 29.99% | 9.38%  |
|           | N°200 | 22 |        |        |
| <b>8</b>  | N°4   | 84 | 35.89% | 12.28% |
|           | N°200 | 21 |        |        |
| <b>9</b>  | N°4   | 89 | 30.17% | 9.78%  |
|           | N°200 | 25 |        |        |
| <b>10</b> | N°4   | 87 | 29.63% | 9.23%  |
|           | N°200 | 24 |        |        |
| <b>11</b> | N°4   | 92 | 38.57% | 13.73% |
|           | N°200 | 26 |        |        |
| <b>12</b> | N°4   | 91 | 35.70% | 11.08% |
|           | N°200 | 25 |        |        |

Nota: En la tabla 69 se puede apreciar el análisis granulométrico de las 12 calicatas analizadas en el estudio de suelo, datos obtenidos del laboratorio de mecánica de suelos.

La clasificación de los suelos según SUCS y en el libro de Braja M. Das nos indica que estamos en presencia de una arena con arcilla o lo que podría interpretarse como una arena arcillosa en el SUCS, pero con más porcentaje de arena que tendría la misma en la clasificación de Braja Das.

Asimismo, las cantidades de gravas son menores al 10%, por ello su presencia no es representativa para la muestra.

Resultados de la conductividad hidráulica y la prueba de corte directo.

**Tabla 70.** Determinación de la densidad seca y la densidad aparente (húmeda)

| 1ERO DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA Y LA DENSIDAD APARENTE<br>(HÚMEDA) |  |                                                                  |                   |      |
|---------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------|-------------------|------|
|                                                                           |  | El ensayo de densidad arrojo los resultados promedio siguientes: |                   |      |
|                                                                           |  | 1.- Peso del frasco + arena                                      | g                 | 6876 |
|                                                                           |  | 2.- Peso del frasco + arena que queda                            | g                 | 2879 |
|                                                                           |  | 3.- Peso de arena empleada (1-2)                                 | g                 | 3997 |
|                                                                           |  | 4.- Peso de arena en el cono y placa                             | g                 | 1579 |
|                                                                           |  | 5.- Peso de arena en la excavación (3-4)                         | g                 | 2418 |
|                                                                           |  | 6.- Densidad de la arena                                         | g/cm <sup>3</sup> | 1.55 |
|                                                                           |  | 7.- Volumen del material extraído (5/6)                          | cm <sup>3</sup>   | 1560 |
|                                                                           |  | 8.- Peso muestra total + recipiente                              | g                 | 2808 |
|                                                                           |  | 9.- Peso de recipiente                                           | g                 | 0    |
|                                                                           |  | 10.- Peso de la muestra total húmeda (8-9)                       | g                 | 2808 |
|                                                                           |  | 11.- Densidad de la muestra total húmeda (10/7)                  | g/cm <sup>3</sup> | 1.80 |

Nota: En la tabla 70 se puede apreciar los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de la densidad seca y la densidad aparente, datos tomados del laboratorio de mecánica de suelos.

**Tabla 71.** Propiedades del coeficiente de permeabilidad y ángulo de corte

| calicata | coeficiente de permeabilidad | Angulo de corte | cohesión |  |
|----------|------------------------------|-----------------|----------|--|
| 1        | 0.00320994                   | 35.025          | 0        |  |

|    |            |        |   |  |
|----|------------|--------|---|--|
|    |            |        |   |  |
| 2  | 0.00323739 | 35.825 | 0 |  |
| 3  | 0.00321563 | 34.525 | 0 |  |
| 4  | 0.00327077 | 35.425 | 0 |  |
| 5  | 0.00325665 | 35.225 | 0 |  |
| 6  | 0.00320982 | 35.925 | 0 |  |
| 7  | 0.00322126 | 33.925 | 0 |  |
| 8  | 0.00323105 | 34.025 | 0 |  |
| 9  | 0.00322747 | 36.225 | 0 |  |
| 10 | 0.00327077 | 34.525 | 0 |  |
| 11 | 0.00323329 | 35.425 | 0 |  |
| 12 | 0.00321958 | 34.925 | 0 |  |

Nota: En la tabla 71 se puede apreciar las propiedades del coeficiente de permeabilidad y el ángulo de corte en las 12 calicatas, datos tomados del laboratorio de mecánica de suelos.

Es por ello que, como se puede observar del ensayo, el coeficiente de permeabilidad dio lugar a un suelo de baja permeabilidad y el ángulo de fricción interna corresponde efectivamente a lo hallado anteriormente, una arena arcillosa.

#### 4.1.5.1. Observaciones y Recomendaciones.

1.- Los parámetros de suelo tipo  $S_2$  Suelos Intermedios, a este tipo le corresponde suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte entre 180m/s y 500m/s. Para el análisis sismo  $Z = 0.35$  (distrito Santo Tomas, Chumbivilcas), con un valor  $S = 1.15$ , y un  $T_p = 0.6$  (s) ;  $T_L = 2$  (s).

2.- Según las muestras y excavación de calicatas no se encuentra presencia de arcillas significativas y no hay presencia de nivel freático. Así mismo las sales y sulfatos son despreciables, usar cemento tipo IP para el reforzamiento de la base.

3. Se recomienda que todos los rellenos a realizar según el proyecto, se realice con material tipo base que debe cumplir los siguientes requerimientos granulométricos, los cuales deberán ser compactados al 95 % del P.M. Se deberá de eliminar suelo de cultivo en 0.50m del nivel encontrado mínimo.

**Tabla 72.** Gradación que pasa en peso

| TAMIZ         | GRADACIÓN QUE PASA EN PESO |           |
|---------------|----------------------------|-----------|
|               | GRADACIÓN                  | GRADACIÓN |
|               | TIPO "A"                   | TIPO "B"  |
| 50mm (2")     | 100%                       | 100%      |
| 25mm (1")     | 0%                         | 75 - 95%  |
| 9.5mm (3/8")  | 30 - 65 %                  | 40 - 75 % |
| 4.75mm (N°4)  | 25 - 55 %                  | 30 - 60 % |
| 2mm (N°10)    | 15 - 40 %                  | 20 - 45 % |
| 4.25um (N°40) | 8 - 20 %                   | 15 - 30 % |
| 75um (N°200)  | 2 - 8 %                    | 5 - 15%   |

Nota: En la tabla 72 se aprecia la gradación que pasa en peso para el tipo A y tipo B, datos tomados del laboratorio de mecánica de suelos.

#### 4.1.5.2. Condiciones y datos requeridos del suelo mejorado (cuerpo de la presa)

### PRE-DISEÑO PRESA DE TIERRA – CUENCA QUEUÑAMAYO

### DISTRITO SANTO TOMAS – PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS

### DEPARTAMENTO DEL CUSCO

El suelo mejorado (blending con el suelo original del lugar) será planteado y mejorado en aras de evitar el núcleo de arcilla, así como las posibles supresiones e infiltraciones.

**Tabla 73.** *Cuerpo preso vs Características*

| CUERPO PRESA                                         | CARACTERISTICAS |
|------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>MATERIAL:</b>                                     | ARCILLA ARENOSA |
| <b>DENSIDAD:</b>                                     | 1.9             |
| <b>COHESIÓN:</b>                                     | 0.9             |
| <b>ANGULO DE<br/>FRICCIÓN<br/>INTERNA:</b>           | 35              |
| <b>COEFICIENTE<br/>DE<br/>PERMEABILIDAD<br/>(K):</b> | 6.32E-06        |

Nota: En la tabla 73, se puede apreciar los valores requeridos en cuanto al cuerpo presa vs las características

#### 4.1.5.3. CALICATA EN AREA DE RIEGO-RESULTADOS

Asimismo, para el suelo de cultivo, se realizó una calicata de prueba por simple inspección.

**Figura 102.** Datos de la muestra

| DATOS DE LA MUESTRA |                         |  |                    |                                                                                                                             |
|---------------------|-------------------------|--|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MUESTRA             | : MATERIAL ARENOSO FINO |  |                    |                                                                                                                             |
| CALICATA            | 1                       |  |                    |                                                                                                                             |
| PROFUNDIDAD         | 3 m                     |  |                    |                                                                                                                             |
| 0.00                |                         |  | Pt suelo orgánico  | Pt suelo orgánico                                                                                                           |
| 0.20                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 0.40                |                         |  | Pt suelo orgánico  | Pt suelo orgánico                                                                                                           |
| 0.60                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 0.80                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 1.00                |                         |  | SC ARENA ARCILLOSA | suelo arenoso son<br>baja presenencia de<br>arsilla y grava<br>semi compacto<br><br>no hay presenencia de<br>nivel freatico |
| 1.20                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 1.40                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 1.60                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 1.80                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 2.00                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 2.20                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 2.40                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 2.60                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 2.80                |                         |  |                    |                                                                                                                             |
| 3.00                |                         |  |                    |                                                                                                                             |

Nota: En la figura 102 se aprecia los datos obtenidos en la muestra precisando el suelo orgánico con un tipo de suelo arena arcillosa SC.

**Tabla 74.** Datos obtenidos para agotamiento inicial

|                                               |           |   |            |
|-----------------------------------------------|-----------|---|------------|
| Humedad del suelo disponible                  | 0.11cm/cm | = | 110.00mm/m |
| Saturación hidráulica                         | 11.11mm/h | = | 26.64mm/d  |
|                                               |           |   |            |
| Agotamiento inicial de humedad de suelo(%ADT) |           |   |            |
| Punto de marchitez                            | 27.20%    |   |            |
| Capacidad de campo                            | 38.5%     |   |            |
| Agotamiento inicial de humedad                | 11.10%    |   |            |

Nota; En la tabla 74 se aprecia los datos obtenidos en cuanto al agotamiento inicial de humedad,

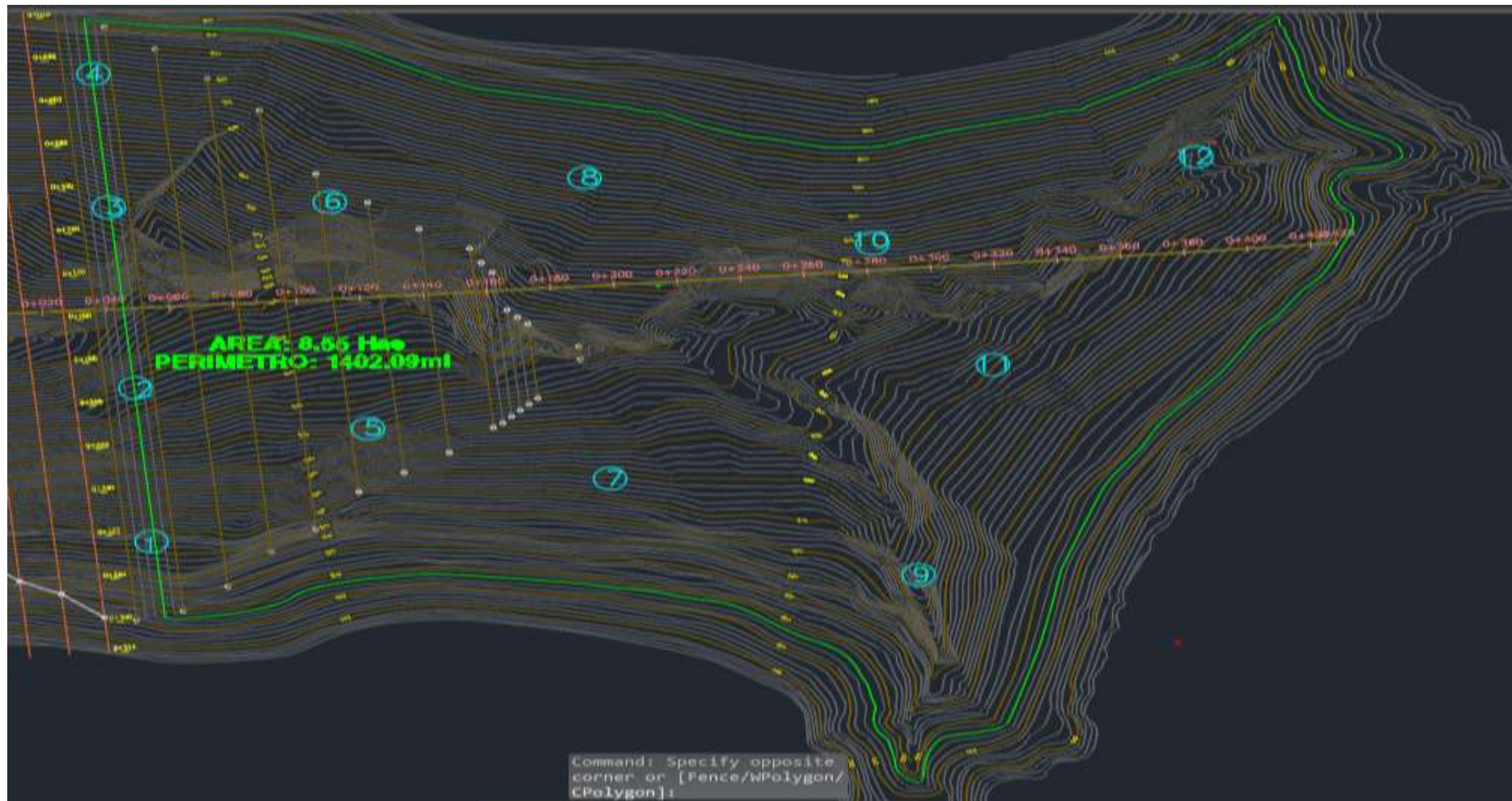
De la misma manera, tal como se mencionó, se realizaron 4 calicatas en el eje del dique y 8 en el vaso de la cuenca y se obtuvieron las siguientes coordenadas UTM WGS84.

**Tabla 75.** *Coordenadas en las calicatas y dique*

| COORDENADAS UTM          | ESTE(X)     | NORTE(Y)    |
|--------------------------|-------------|-------------|
| <b>CALICATA 1(DIQUE)</b> | 819470.9040 | 8393228.427 |
| <b>CALICATA 2(DIQUE)</b> | 819470.9040 | 8393178.427 |
| <b>CALICATA 3(DIQUE)</b> | 819470.9040 | 8393128.427 |
| <b>CALICATA 4(DIQUE)</b> | 819470.9040 | 8393078.427 |
| <b>CALICATA 5(VASO)</b>  | 819552.5152 | 8393200.000 |
| <b>CALICATA 6(VASO)</b>  | 819552.5152 | 8393100.000 |
| <b>CALICATA 7(VASO)</b>  | 819630.9758 | 8393100.000 |
| <b>CALICATA 8(VASO)</b>  | 819721.2276 | 8392996.795 |
| <b>CALICATA 9(VASO)</b>  | 819797.8451 | 8393154.408 |
| <b>CALICATA 10(VASO)</b> | 819700.0000 | 8393100.000 |
| <b>CALICATA 11(VASO)</b> | 819600.0000 | 8393150.000 |
| <b>CALICATA 12(VASO)</b> | 819497.9935 | 8393064.434 |

Nota: En la tabla 75, se puede apreciar las coordenadas que se obtuvieron de las calicatas en el dique y en el vaso de la cuenca.

**Figura 103.** Plano de Calicatas



Nota: En la figura 103 se puede observar el plano de las 12 calicatas, de las cuales se realizó el estudio de suelos correspondiente. Imagen obtenida del software Civil 3D.

#### 4.1.6. Prediseño de la presa de tierra

Las presas son estructuras críticas que están sujetas a fuerzas naturales degradantes y peligrosas como la lluvia, el hielo, las temperaturas extremas y la acción del agua que se vierte sobre el sitio de la fundación. Es importante observar el comportamiento de la presa en estas acciones. Las observaciones deben centrarse en varios aspectos:

- Estado de conservación de materiales y mecanismos.
- Presión intersticial crítica para la seguridad.
- Fuga de presa o de sus cimientos.
- Deformación o desplazamiento del terraplén y terreno circundante.

Estas observaciones se utilizan para evaluar el comportamiento de la presa en el tiempo y para asegurar que las hipótesis del proyecto son correctas y la estructura cumple con los supuestos computacionales.

Las observaciones suelen tener otros dos períodos de atención distintos. Los primeros años después de la construcción de la presa (especialmente cuando el embalse se llena por primera vez) y cuando la obra ha envejecido. Mientras tanto, por supuesto, se requiere precaución y vigilancia, pero de una manera más rutinaria

**4.1.6.1. Predimensionamiento de la presa.** Utilizando los datos provenientes del balance hídrico, se procede a elaborar las curvas de capacidad – área – elevación, mediante la cual se determinará el volumen de almacenamiento que cumplirá con la solicitud de almacenamiento, a la que a su vez se descontará el volumen calculo en el volumen de sedimentos, obteniéndose la altura de sedimentos, por encima del cual se ubicará la cámara de carga o toma de fondo; y en la cota en donde se obtenga la capacidad de almacenaje requerido se obtiene el nivel de aguas máximo de operación (NAMO).

**4.1.6.1.2. Obtención de volumen de Sedimentos (Método de Fleming).** Para calcular el caudal de sedimentos y la totalidad de ellos en 50 años, primero calculamos el caudal promedio anual, al no contar con registros usamos la manera empírica, que consiste en multiplicar la precipitación media anual con el área de la cuenca y coeficiente de escorrentía entre los segundos que tiene un año.

$$Q_s = a \cdot Q^n \quad (\text{Ec. 4.27})$$

$Q_s$ = Transporte medio anual de suspensión en toneladas

$Q$  = Caudal medio anual

$a, n$ = Constante definidas por cobertura vegetal

Cobertura vegetal:  $n=0.65$  y  $a = 19.26$

$Q_s$ = Transporte medio anual de suspensión en toneladas

$Q$ = Caudal medio anual

$a, n$ = Constante definidas por cobertura vegetal

Cobertura vegetal:  $n=0.65$  y  $a = 19.26$

$$Q = \frac{P \cdot S \cdot e}{b} \quad (\text{Ec. 4.28})$$

Donde:

$P$ : Precipitación media anual: 955.32mm

$S$ : Área de la cuenca: 4420986 m<sup>2</sup>

$e$ : coeficiente de escorrentía: 0.6

$b$ : Segundos en un año: 31536000 s

**Caudal promedio anual: 80.35 m<sup>3</sup>/año**

Por lo tanto:

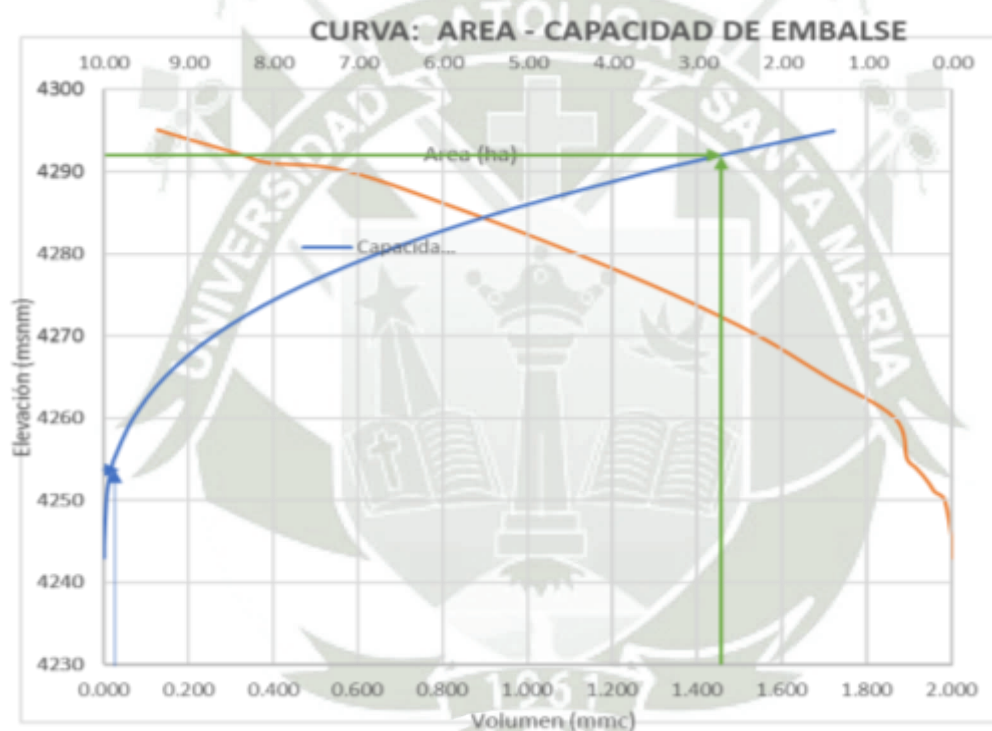
$$Q_s = 333.36 \text{ ton/año}$$

$$P.E. = 1 \text{ ton/m}^3$$

$$Q_s = 333.36 \text{ m}^3/\text{año}$$

Vida de la estructura = 50 años

**Figura 104.** Curva de capacidad y área



Nota: En la figura 104 se aprecia la curva de capacidad de área, altura y volumen.

#### 4.1.6.3. Curva Altura-Área-Volumen

Tabla 76. Datos de curva altura- área- volumen

| AREA |       | AREA  | INTERV. | VOLUMEN |            | VOL.  | VOL.       | VOL.      | VOL.    | REQ. CAP.    |              |        |
|------|-------|-------|---------|---------|------------|-------|------------|-----------|---------|--------------|--------------|--------|
|      |       | MEDIA |         |         |            | ACUM. | SEDIMENTOS | UTIL      | EMBALSE |              |              |        |
| (m2) | (ha)  | (ha)  | (m)     | (m3)    | (MMC)      | (MMC) | (m3)       | (MMC)     | (MMC)   | (m3)         |              |        |
| 4240 |       |       |         |         |            |       | 16,668.04  | 0.0167    | -0.0167 | 1,401,214.47 | 1.4012       |        |
| 4243 | 1     | 0.00  | 0.00    | 3       | 2.03       | 0.000 | 0.000      | 16,668.04 | 0.0167  | -0.0167      | 1,401,215.47 | 1.4012 |
| 4244 | 21    | 0.00  | 0.00    | 1       | 11.40      | 0.000 | 0.000      | 16,668.04 | 0.0167  | -0.0167      | 1,401,216.47 | 1.4012 |
| 4245 | 87    | 0.01  | 0.01    | 1       | 54.42      | 0.000 | 0.000      | 16,668.04 | 0.0167  | -0.0166      | 1,401,217.47 | 1.4012 |
| 4250 | 1790  | 0.18  | 0.09    | 5       | 4,692.90   | 0.005 | 0.005      | 16,668.04 | 0.0167  | -0.0119      | 1,401,218.47 | 1.4012 |
| 4251 | 2404  | 0.24  | 0.21    | 1       | 2,097.00   | 0.002 | 0.007      | 16,668.04 | 0.0167  | -0.0098      | 1,401,219.47 | 1.4012 |
| 4252 | 3089  | 0.31  | 0.27    | 1       | 2,746.57   | 0.003 | 0.010      | 16,668.04 | 0.0167  | -0.0071      | 1,401,220.47 | 1.4012 |
| 4253 | 3917  | 0.39  | 0.35    | 1       | 3,502.85   | 0.004 | 0.013      | 16,668.04 | 0.0167  | -0.0036      | 1,401,221.47 | 1.4012 |
| 4254 | 4875  | 0.49  | 0.44    | 1       | 4,395.93   | 0.004 | 0.018      | 16,668.04 | 0.0167  | 0.0008       | 1,401,222.47 | 1.4012 |
| 4255 | 5854  | 0.59  | 0.54    | 1       | 5,364.56   | 0.005 | 0.023      | 16,668.04 | 0.0167  | 0.0062       | 1,401,223.47 | 1.4012 |
| 4260 | 11258 | 1.13  | 0.68    | 9       | 61,477.97  | 0.061 | 0.068      | 16,668.04 | 0.0167  | 0.0517       | 1,401,220.47 | 1.4012 |
| 4265 | 18508 | 1.85  | 1.49    | 5       | 74,415.05  | 0.074 | 0.143      | 16,668.04 | 0.0167  | 0.1261       | 1,401,221.47 | 1.4012 |
| 4270 | 27399 | 2.74  | 2.30    | 5       | 114,768.28 | 0.115 | 0.258      | 16,668.04 | 0.0167  | 0.2409       | 1,401,222.47 | 1.4012 |

|      |       |      |      |   |            |       |       |           |        |        |              |        |
|------|-------|------|------|---|------------|-------|-------|-----------|--------|--------|--------------|--------|
| 4275 | 38469 | 3.85 | 3.29 | 5 | 164,669.78 | 0.165 | 0.422 | 16,668.04 | 0.0167 | 0.4055 | 1,401,223.47 | 1.4012 |
| 4280 | 50526 | 5.05 | 4.45 | 5 | 222,487.43 | 0.222 | 0.645 | 16,668.04 | 0.0167 | 0.6280 | 1,401,224.47 | 1.4012 |
| 4285 | 63724 | 6.37 | 5.71 | 5 | 285,623.98 | 0.286 | 0.930 | 16,668.04 | 0.0167 | 0.9136 | 1,401,225.47 | 1.4012 |
| 4290 | 79111 | 7.91 | 7.14 | 5 | 357,087.23 | 0.357 | 1.287 | 16,668.04 | 0.0167 | 1.2707 | 1,401,226.47 | 1.4012 |
| 4291 | 82190 | 8.22 | 8.07 | 1 | 80,650.60  | 0.081 | 1.368 | 16,668.04 | 0.0167 | 1.3514 | 1,401,227.47 | 1.4012 |
| 4292 | 85461 | 8.55 | 8.38 | 1 | 83,825.72  | 0.084 | 1.452 | 16,668.04 | 0.0167 | 1.4352 | 1,401,228.47 | 1.4012 |
| 4293 | 88800 | 8.88 | 8.71 | 1 | 87,130.56  | 0.087 | 1.539 | 16,668.04 | 0.0167 | 1.5223 | 1,401,229.47 | 1.4012 |
| 4294 | 92154 | 9.22 | 9.05 | 1 | 90,476.79  | 0.090 | 1.629 | 16,668.04 | 0.0167 | 1.6128 | 1,401,230.47 | 1.4012 |
| 4295 | 95255 | 9.53 | 9.37 | 1 | 93,704.54  | 0.094 | 1.723 | 16,668.04 | 0.0167 | 1.7065 | 1,401,231.47 | 1.4012 |

Nota: En la tabla 76 se puede apreciar los valores de curva- altura- área- volumen

Con esto se obtuvo:

- Altura de sedimentos (Nivel mínimo de operación) : 4254 msnm
- Nivel de aguas máximo de operación: 4292 msnm

**4.1.6.3.1. Borde Libre o resguardo.** El borde libre protege la presa y evita que el agua sobrepase la capacidad de la misma. Razones para necesitar un borde libre:

- Contrarresta el asentamiento por encima de las expectativas.
- Seguridad para distancias más largas de lo previsto.
- La acción del oleaje.
- Evita ser invadido por oleaje o perturbaciones por mal funcionamiento del vertedero.

#### 4.1.6.3.1.1. Cálculo del Borde Libre Método Stevenson-Caillar.

Figura 105. Cálculo del borde libre

**STEVENSON - CAILLAR - SNAPEN**

|                                                 |         |                                 |
|-------------------------------------------------|---------|---------------------------------|
| Longitud Máxima del espejo de agua - Fetch (km) | 0.40    | *De topografía (espejo de agua) |
| Carga sobre Vertedero (m)                       | 1.00    | *De Cálculo de vertedero        |
| Nivel de aguas Máximas Ordinarias (NAMO)        | 4292.00 | *Base de presa + Altura presa   |

Calculo de altura de la ola según STEVENSON

$$H_o = 0.76 + 0.34\sqrt{F} - 0.26\sqrt[4]{F}$$

Ho (m) =

Velocidad de la ola sobre el agua

$$V_s = 1.52 + 2 H_o$$

Vg (m/s) =

Borde libre mínimo

$$BLM = 0.75 H_o + (V_s^2) / 2g$$

BLM (m) =

\*g= acel. Gravedad

Borde Libre Normal

$$BLN = H_o + BLM$$

|                        |                                      |             |
|------------------------|--------------------------------------|-------------|
| BLN (m) =              | <input type="text" value="1.82"/>    | (calculada) |
| BLN (m) =              | <input type="text" value="2.00"/>    | (A usar)    |
| COTA DE CORONA (msnm)= | <input type="text" value="4294.00"/> |             |

Nota: En la figura 105 se aprecia los valores para el cálculo del borde libre, de acuerdo a los parámetros de Stevenson- Caillar- Snapen

#### 4.1.6.4. Ancho de Corona.

El ancho mínimo dado a la presa pequeña en la corona se deriva de los siguientes factores:

- Agrega volumen a la presa para mejorar la seguridad y la estabilidad.
- Instalar los servicios necesarios en la presa y utilizarla como vía de mantenimiento.
- Facilita la construcción con el equipo disponible.
- Talud Transversal si Cubre Talud Seco: 2% desde el extremo hacia el puente ubicado sobre el aliviadero donde se colocan rejillas para ventilación.
- La protección contra la erosión cuando no se utiliza como vía es de 0,10 m. De mampostería de concreto.

##### 4.1.6.4.1. Cálculo de Ancho Corona con la fórmula Empírica.

**Figura 106.** Datos para el cálculo de ancho de corona con fórmula empírica

|                                             |                                    |                                    |
|---------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Formula Empírica</b>                     |                                    |                                    |
| Altura Max. De Embalse h(m)=                | 68.00                              | *Del perfil longitudinal           |
| Altura Max. De Presa Z(m)=                  | 70.00                              | *Altura del embalse + borde libre  |
| <br>                                        |                                    |                                    |
| $AC = 1.10 (Z)^{1/2} + 1$                   |                                    | *Ecuación de Bureau of reclamation |
| Ancho de Corona AC(m)=                      | <input type="text" value="10.20"/> |                                    |
| $AC = 3.60 (Z)^{1/3} - 3$                   |                                    | *Ecuación de Norma Japonesa        |
| Ancho de Corona (Reglamento Japones) AC(m)= | <input type="text" value="11.84"/> |                                    |
| <br>                                        |                                    |                                    |
| <b>Instrucción Española de Presas</b>       |                                    |                                    |
| Coefficiente Sísmico K=                     | 1                                  | (Zona no sísmica)                  |
| Coefficiente Sísmico K=                     | 1.3                                | (Zona sísmica)                     |
| $AC = k[3 + 1.5(Z - 15)^{1/3}]$             |                                    |                                    |
| AC (m)                                      | <input type="text" value="11.31"/> |                                    |
| <b>Ancho de Coronamiento Elegido AC(m)=</b> |                                    | <input type="text" value="11.00"/> |

Nota: En la figura 106 se aprecia los datos para el cálculo de ancho de corona con fórmula empírica

#### 4.1.6.5. Análisis de Estabilidad.

El suelo sobre el que se asienta la presa debe ser capaz de resistir las cargas que transmite, que a su vez resultan de las fuerzas externas a las que se ve sometida. Por lo tanto, debe tener la topografía y formación geológica adecuada.

Luego de una inspección preliminar y levantamiento topográfico de la zona de cierre, se eligió el eje de la presa, los taludes presentaban material limoso y arena con muy poca grava en ambos márgenes.

Los datos calculados los proporcionan los estudios de suelo realizados, que nos dan 3 consideraciones principales: gravedad específica, cohesión y ángulo de rozamiento.

En el análisis de estabilidad de presas utilizaremos estos valores proporcionados por el estudio de mecánica de suelos, utilizando un programa llamado Slide versión 6.0 donde podemos utilizar una variedad de métodos para este tipo de análisis, pero para efectos computacionales solo utilizaremos 2 de ellos, Bishop y Janbu Simplificado.

Al tratarse de una presa de material suelto (tierra), el análisis de estabilidad queda centrado en la estabilidad de taludes, tanto en presa vacía como llena con sismo y sin él, usando los Factores de Seguridad Mínimos Recomendados por US Army Corps of Engineers para verificar si en estos 4 casos el factor es superior al indicado acorde a la norma.

##### 4.1.6.5.1. Estabilidad de taludes.

- **Talud Aguas Arriba:** Considerando el frente de enrocado que soporta la base de esta región, tenemos una estructura semirrígida que solo es propensa a deslizamientos debido a que este frente se apoya cómodamente en el talud aguas arriba. Considerando estos intervalos, se analiza el factor de seguridad ante

posibles deslizamientos según la base de apoyo en ese sector de la presa. El propósito de este análisis de estabilidad de taludes aguas arriba es determinar diferentes factores de seguridad contra deslizamientos de tierra para diferentes casos de carga que pueden ocurrir durante la construcción (vacío) y la implementación (lleno).

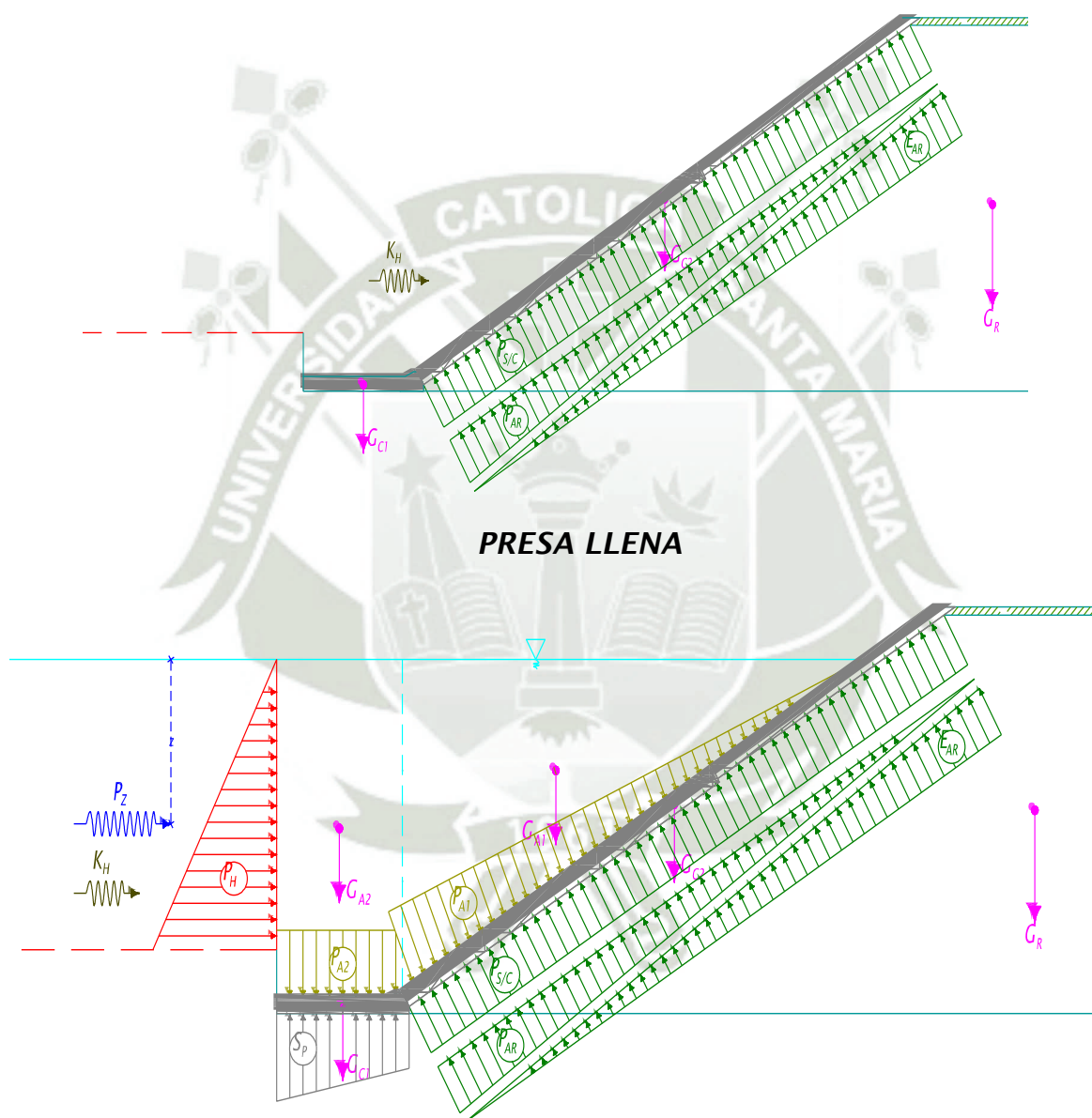
- **Talud aguas abajo:** El material en este sector de la presa está suelto, donde a diferencia del talud aguas arriba no existe una capa de material de transición, por lo que se presta más atención al análisis de estabilidad de este talud; Para ello utilizamos Slide Software, que nos permite conocer las superficies de falla y el nivel de seguridad de este talud ya sea durante su construcción o uso. Para evaluar las condiciones de estabilidad del talud aguas abajo, se realizó un análisis de estabilidad en las condiciones en las que se encontrará y operará la presa durante su vida útil. Antes del análisis, además de las investigaciones topográficas, también se realizaron estudios geotécnicos y geológicos. También se revisó información sobre el proyecto. Para este análisis, se deben considerar varios factores que afectan la estabilidad de taludes. Se deben tener en cuenta los siguientes factores: geometría del talud, parámetros geológico-geotécnicos, cargas dinámicas provocadas por sismos, condiciones de flujo de agua, etc. No todos estos factores pueden cuantificarse en un modelo matemático; A pesar de estas limitaciones, determinar el factor de seguridad con base en la suposición de probables superficies de falla permite comprender el comportamiento de taludes.

#### 4.1.6.6. Metodología Software Slide.

**Figura 107.** Diagrama de cuerpo libre de la presa vacía

#### **DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE:**

#### **PRESA VACIA**



Nota: En la figura 107, se aprecia el diagrama de cuerpo libre con la presa llena.

**4.1.6.6.1. Método de Equilibrio Límite.** El método de equilibrio límite en el análisis de estabilidad de taludes se basa en la resistencia al deslizamiento de taludes, que tiene en cuenta ciertas hipótesis sobre el mecanismo de falla, las condiciones de equilibrio, las aguas subterráneas, la resistencia al corte, etc.

Existen varios métodos para el análisis de estabilidad de taludes; Los métodos de diseño de presas utilizados en la investigación son: Bishop y Janbu. El método de equilibrio límite asume que las fuerzas de impacto y resistencia en la superficie de falla son iguales en la superficie de falla, esta condición corresponde a un factor de seguridad de 1.0. Los parámetros de resistencia al corte de los materiales utilizados en el análisis de estabilidad se calcularon mediante ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas en el estudio de campo.

**Tabla 77.** Métodos para análisis de estabilidad de taludes

| METODO                        | AÑO  | SUPERFICIE<br>DE FALLA | EQUILIBRIO     | CARACTERISTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|------|------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BISHOP</b>                 | 1954 | CIRCULAR               | DE<br>MOMENTOS | Asume que todas las fuerzas de corte entre dovelas son nulas. Reduce el número de incógnitas. La solución es indeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela. El cálculo se lleva a cabo buscando el equilibrio de momentos respecto al centro del arco circular. |
| <b>JANBU<br/>SIMPLIFICADO</b> | 1968 | CUALQUIER<br>FORMA     | DE FUERZAS     | Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de corte entre dovelas. Este método utiliza un factor de corrección para tener en                                                                                                                                                                           |

cuenta este posible error. Los factores de seguridad son relativamente Bajos.

Nota: En la tabla 77, se aprecia los métodos para el análisis de estabilidad en taludes

#### 4.1.6.6.2 Factores de Seguridad Mínimos Recomendados por US Army Corps of Engineers.

Existen normas internacionales a las cuales deben ceñirse los trabajos de diseño de presas, así como los procesos constructivos, para lo cual nuestro diseño lo basaremos de acuerdo al siguiente cuadro referencial:

**Tabla 78.** Factores de seguridad mínimos

| FACTORES DE SEGURIDAD MINIMOS US CORPS OF ENGINEERS |                     |             |
|-----------------------------------------------------|---------------------|-------------|
| Condición de diseño                                 | Factor de Seguridad |             |
|                                                     | Talud aguas         | Talud aguas |
|                                                     | arriba              | abajo       |
| 1. Al final de la construcción (Estático)           | 1.3                 | 1.3         |
| 2. A largo plazo y con presa llena                  | -                   | 1.5         |
| 3. A desembalse rápido (Dinámico)                   | 1.5                 | -           |
| 4. Con sismo (1 y 2)                                | 1.0                 | 1.0         |

Nota: En la tabla 78, se aprecia los factores de seguridad mínimos Fuente: USACE, 1995

Estos valores son los que van a determinar la estabilidad de nuestra presa

4.1.6.6.2.1. *Procedimiento de Análisis.* Los análisis mostrados a continuación han sido realizados para las tres condiciones críticas que son:

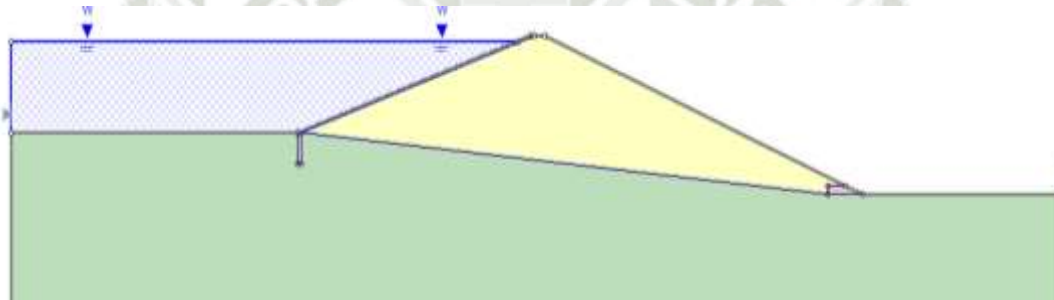
Presa llena sin sismo, presa vacía con sismo y el más crítico: presa llena con sismo.

- Al Final de la Construcción: Análisis estático y dinámico con datos de la resistencia no drenada aguas abajo.

- A Largo plazo y con Presa Llena (Durante la Operación), análisis del talud abajo, se ha efectuado empleando datos de la resistencia drenada para el estado estático y resistencias no drenadas para el evento sísmico (0.35g)

Teniendo en cuenta todas las consideraciones técnicas anteriormente mencionadas y con la ayuda de las recomendaciones del Bureau of Reclamation para presas, es que se eligen los siguientes pre dimensionamientos de los taludes para nuestra presa de material homogéneo compacto con cara de enrocado, los cuales serán previamente verificados con la ayuda del software Slide.

**Figura 108.** Modelo bidimensional de presa

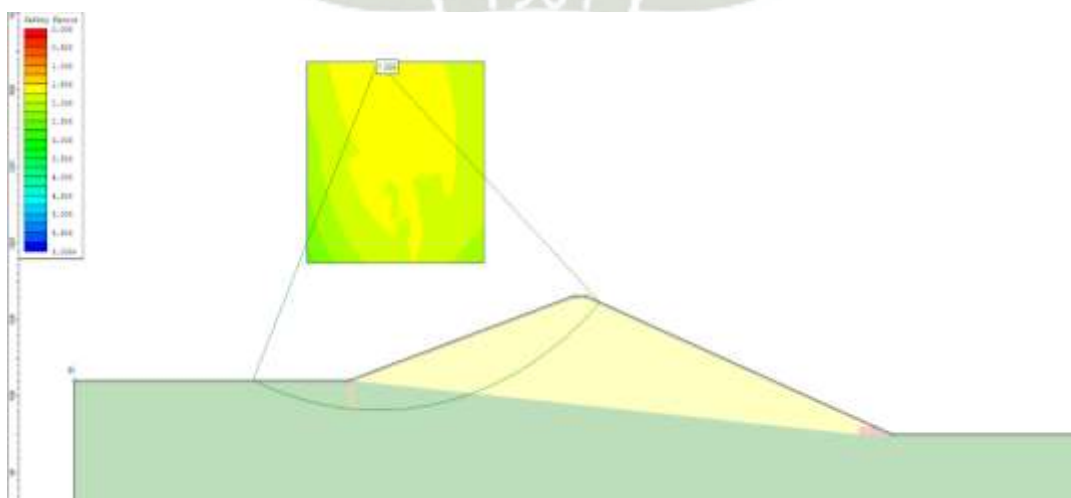


Nota: En la figura 108, se aprecia el modelo bidimensional de la presa, imagen tomada del software Slide.

#### **4.1.6.6.3. Estabilidad de talud aguas arriba (cara húmeda).**

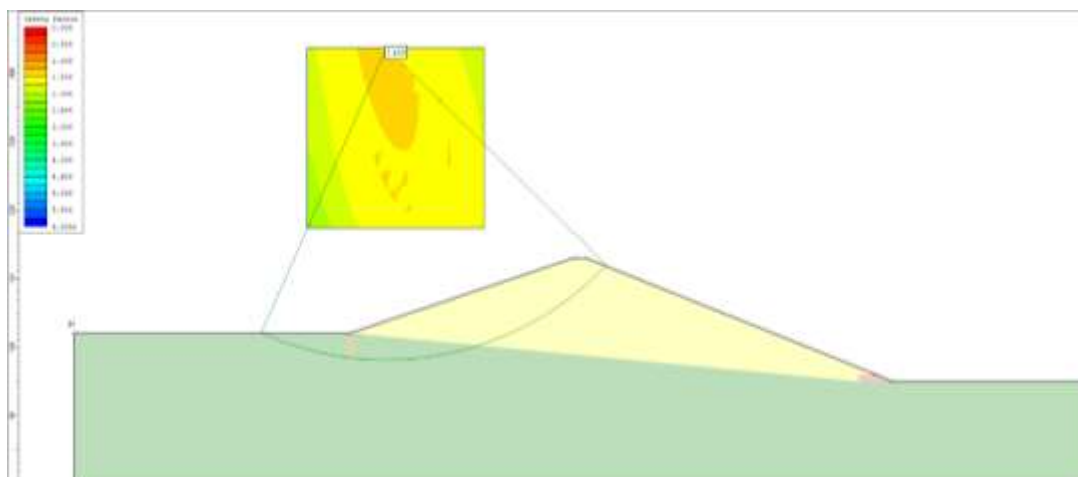
a) Presa vacía con sismo aguas arriba

**Figura 109.** Presa vacía con sismo agua arriba Bishop



Nota: En la figura 109, se aprecia la presa vacía con sismo agua arriba, imagen tomada del software Slide.(F.S.BISHOP = 1.56)

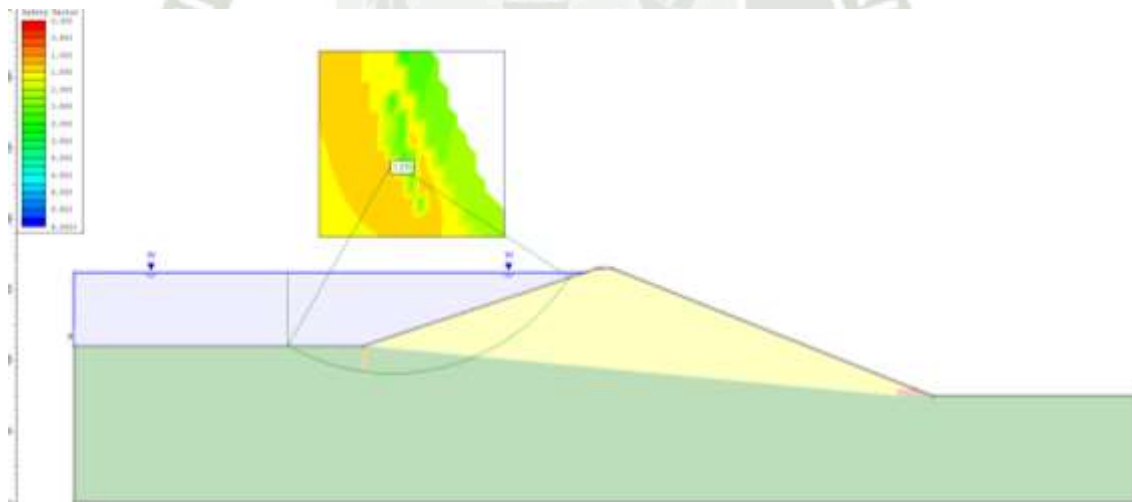
**Figura 110.** Presa vacía con sismo aguas arriba Jambu



Nota: En la figura 110, se aprecia la presa vacía con sismo aguas arriba, imagen tomada del software Slide.  
(F.S. JAMBU = 1.45)

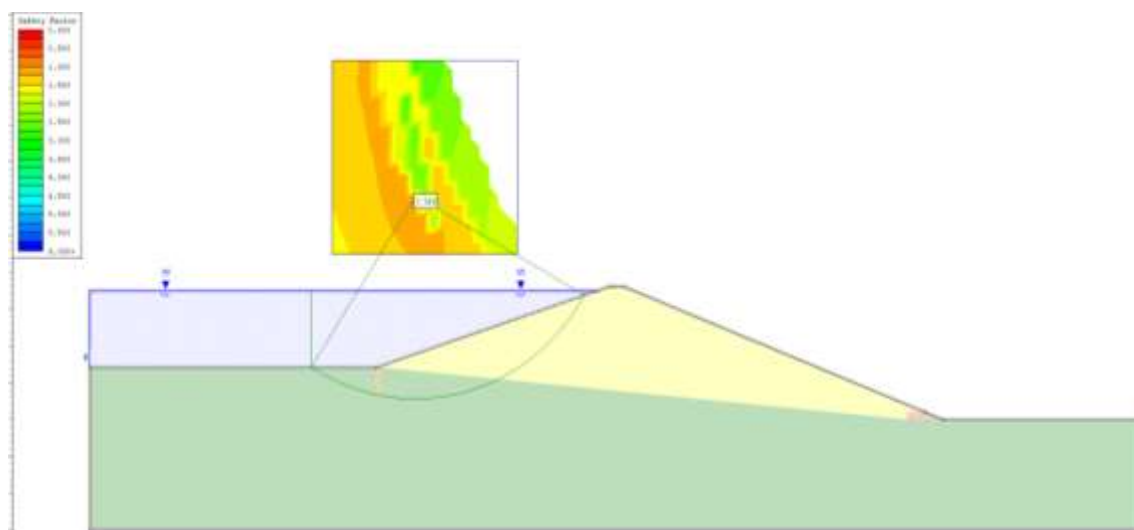
b) Presa llena con sismo aguas arriba

**Figura 111.** Presa llena con sismo aguas arriba Bishop



Nota: En la figura 111, se aprecia la presa llena con sismo aguas arriba para F.S. Bishop=1.27, imagen tomada del software Slide

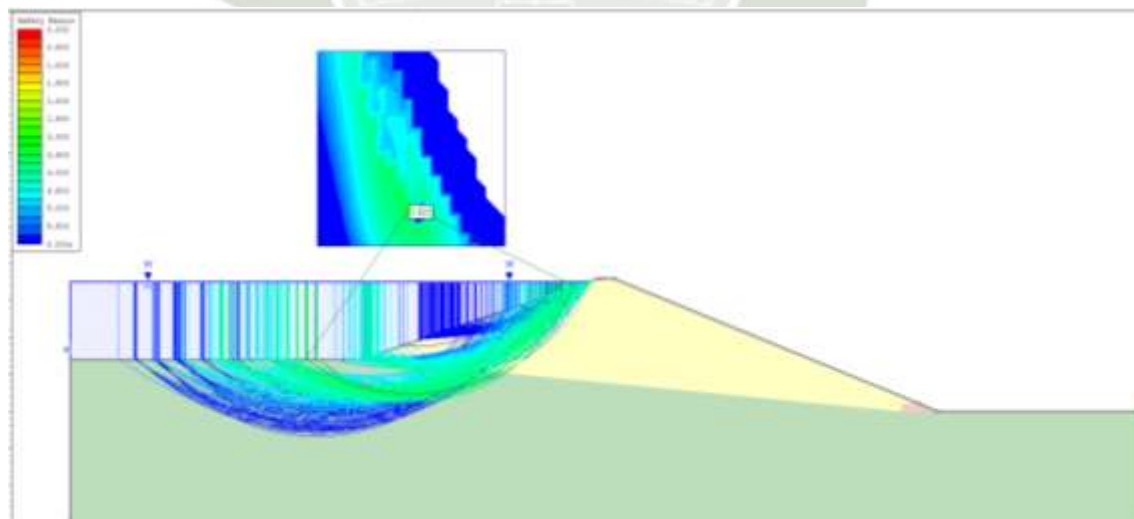
**Figura 112.** Presa llena con sismo aguas arriba Jambu



Nota: En la figura 112, se aprecia la presa llena con sismo aguas arriba para F.S. Jambu=1.15, imagen tomada del software Slide

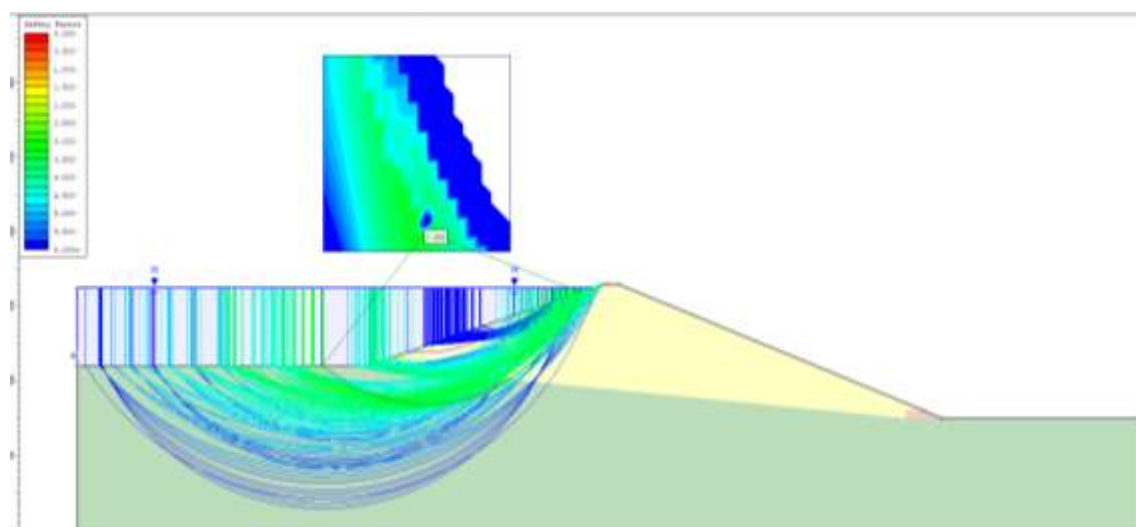
c) Presa llena sin sismo aguas arriba

**Figura 113.** Presa llena sin sismo aguas arriba Bishop



Nota: En la figura 113, se aprecia la presa llena sin sismo aguas arriba para F.S. Bishop=3.62, imagen tomada del software Slide

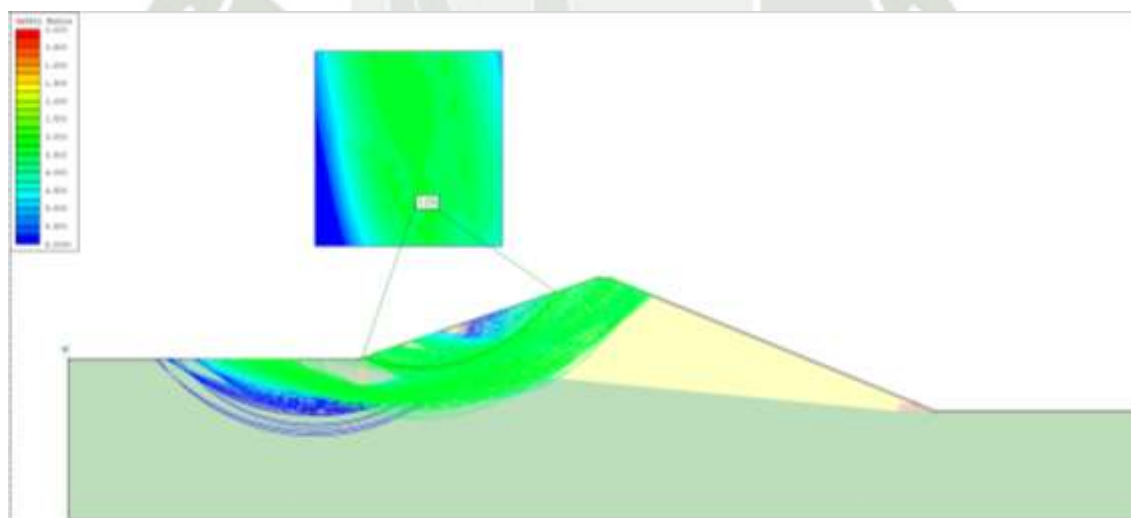
**Figura 114.** Presa llena sin sismo aguas arriba Jambu



Nota: En la figura 114, se aprecia la presa llena sin sismo aguas arriba para F.S. Jambu= 3.26, imagen tomada del software Slide

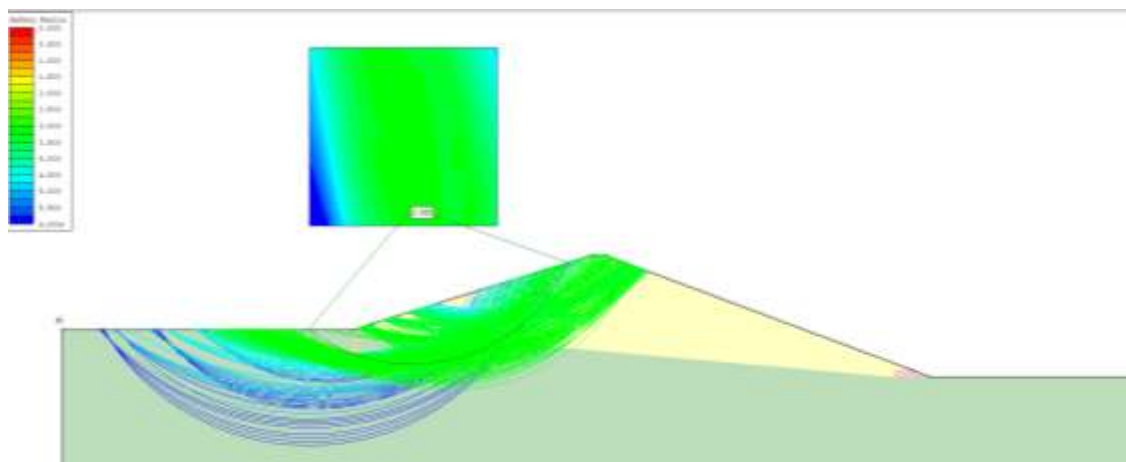
d) Presa vacía sin sismo aguas arriba

**Figura 115.** Presa vacía sin sismo aguas arriba Bishop



Nota: En la figura 115, se aprecia la presa vacía sin sismo aguas arriba para F.S. Bishop= 3.235, imagen tomada del software Slide

**Figura 116.** Presa vacía sin sismo aguas arriba Jambu

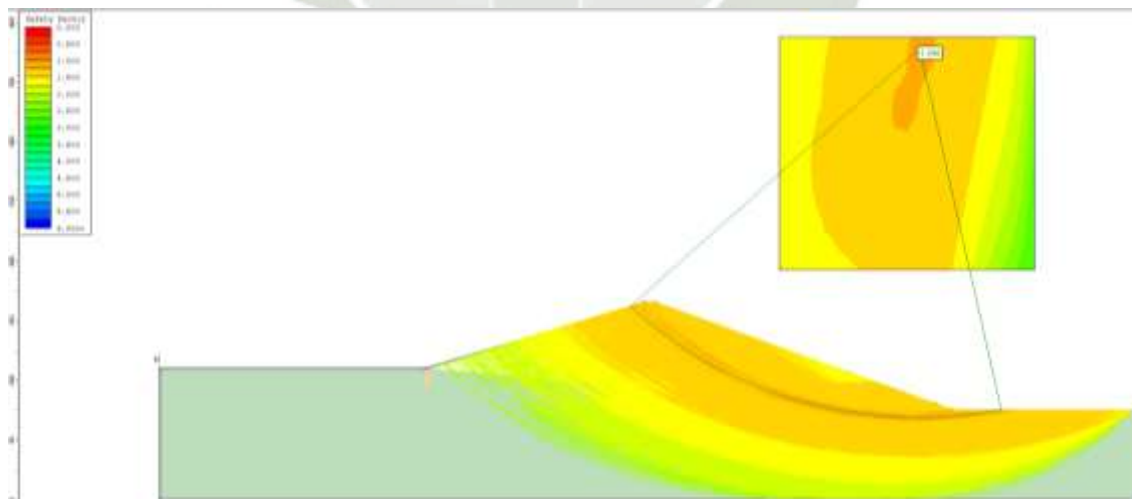


Nota: En la figura 116, se aprecia presa vacía sin sismo aguas arriba para un F.S. Jambu= 2.989, imagen obtenida del software Slide

#### **4.1.6.6.4. Estabilidad de talud aguas abajo (Cara Seca)**

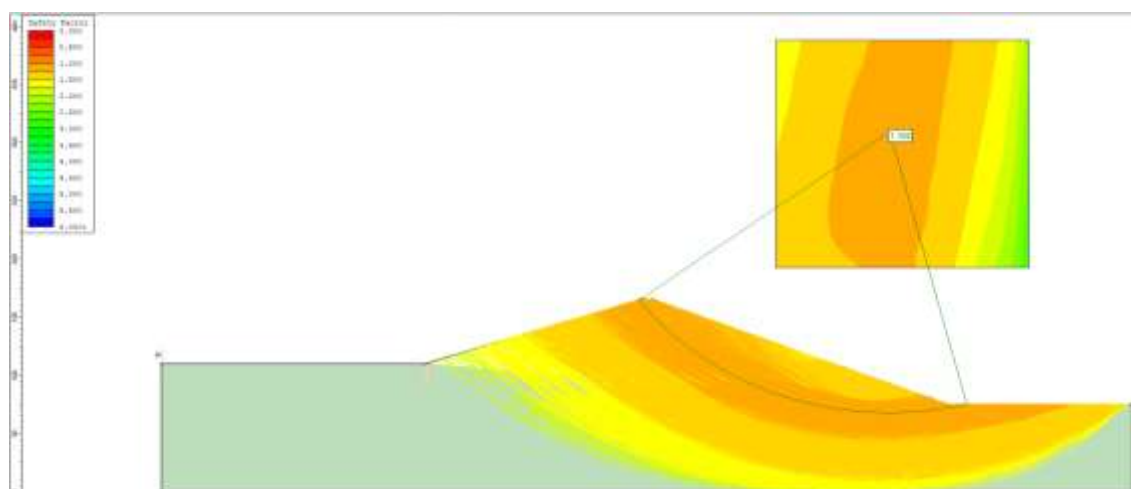
a) Presa vacía con sismo aguas abajo

**Figura 117.** Presa vacía con sismo aguas abajo Bishop



Nota: En la figura 117, se aprecia presa vacía con sismo aguas abajo, imagen obtenida del software Slide F.S. Bishop=1.24

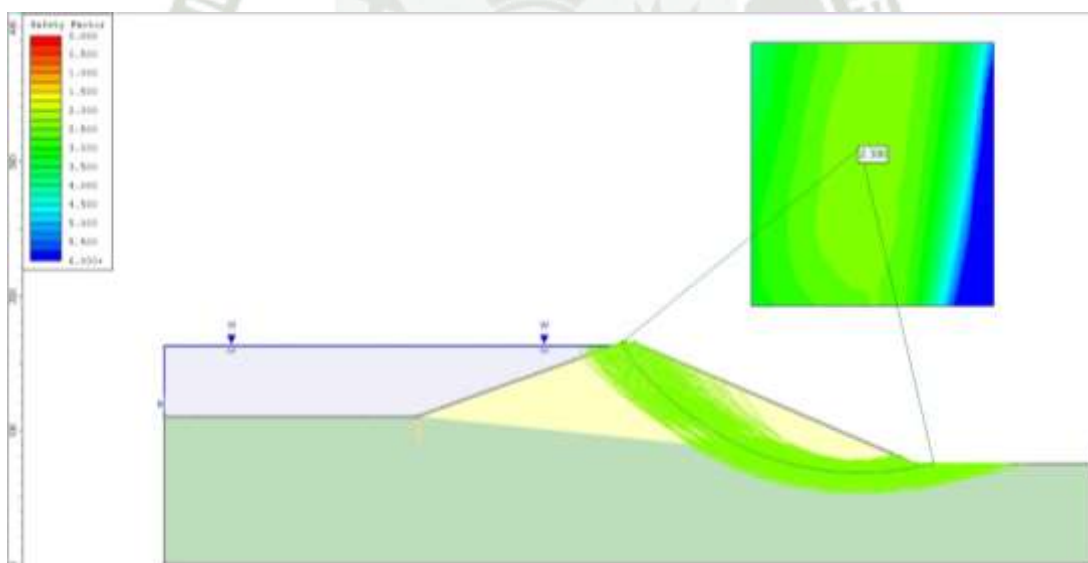
**Figura 118.** Presa vacía con sismo aguas abajo Jambu



Nota: En la figura 118, se aprecia la presa vacía con sismo aguas abajo con F.S. Jambu=1.158, imagen obtenida del software Slide

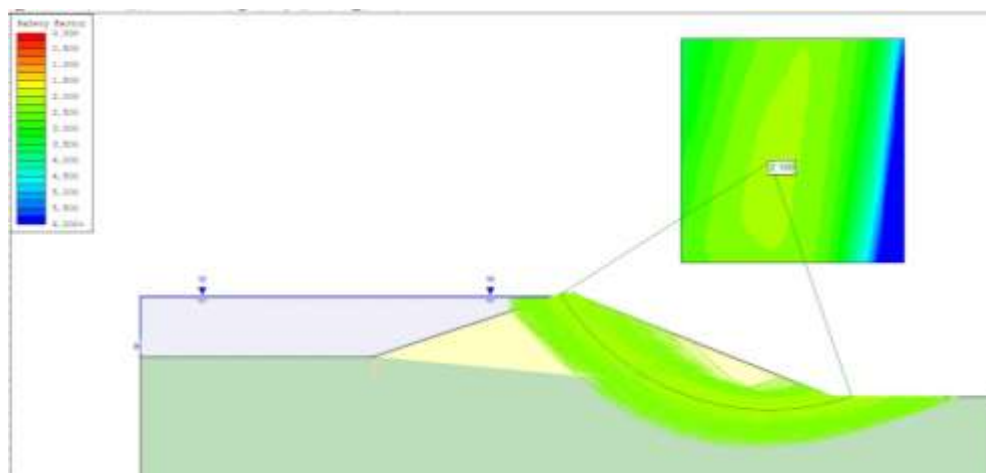
b) Presa Llena Sin Sismo Aguas Abajo

**Figura 119.** Presa llena sin sismo aguas abajo Bishop



Nota: En la figura 119, se aprecia la presa vacía con sismo aguas abajo con F.S. Bishop=2.306, imagen obtenida del software Slide

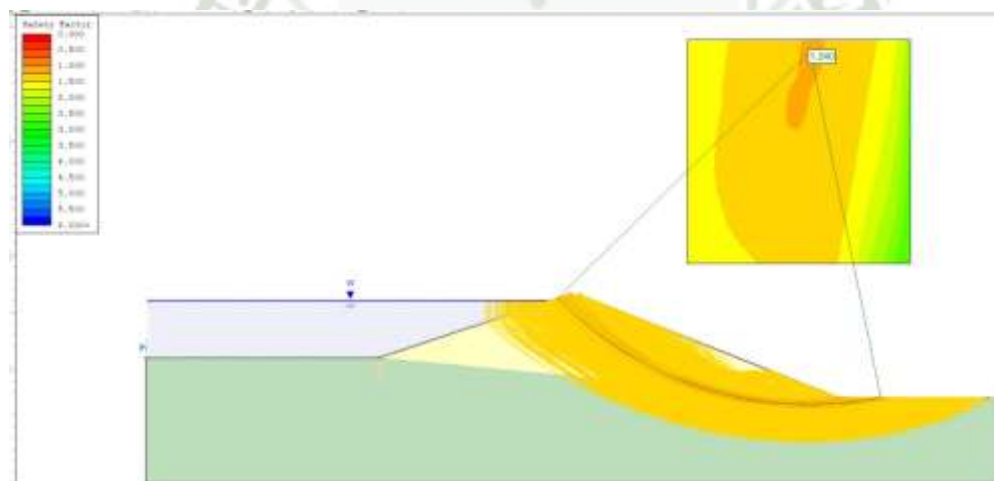
**Figura 120.** Presa llena sin sismo aguas abajo Jambu



Nota: En la figura 120, se aprecia la presa vacía con sismo aguas abajo con F.S. Jambu=2.168, imagen obtenida del software Slide

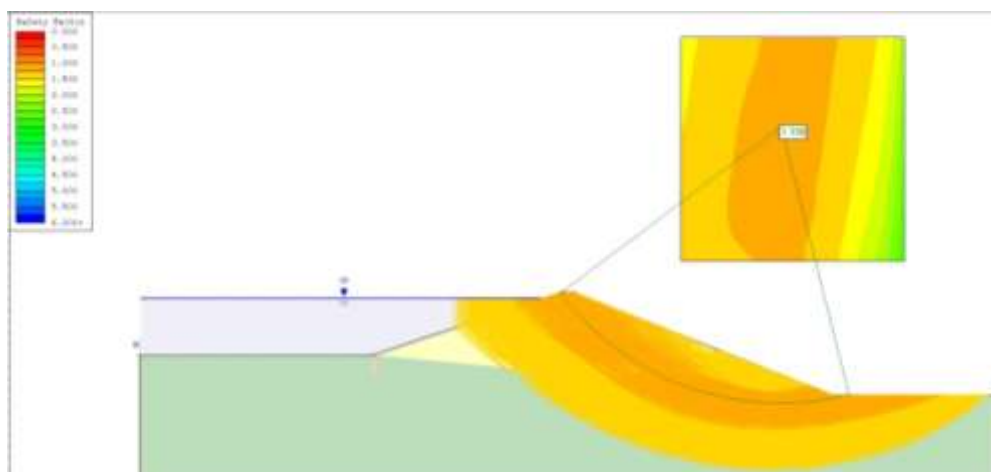
### C) Presa Llena con Sismo Aguas Abajo

**Figura 121.** Presa llena con sismo aguas abajo Bishop



Nota: En la figura 121, se aprecia la presa vacía con sismo aguas abajo con F.S. Bishop= 1.240, imagen obtenida del software Slide

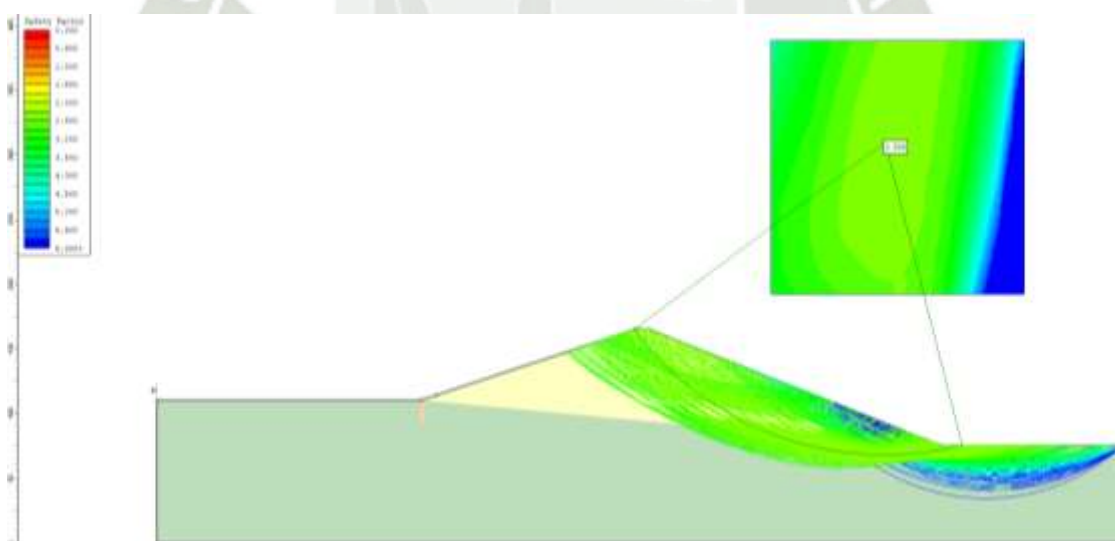
**Figura 122.** Presa llena con sismo aguas abajo Jambu



Nota: En la figura 122, se aprecia la presa vacía con sismo aguas abajo con F.S. Jambu= 1.158, imagen obtenida del software Slide

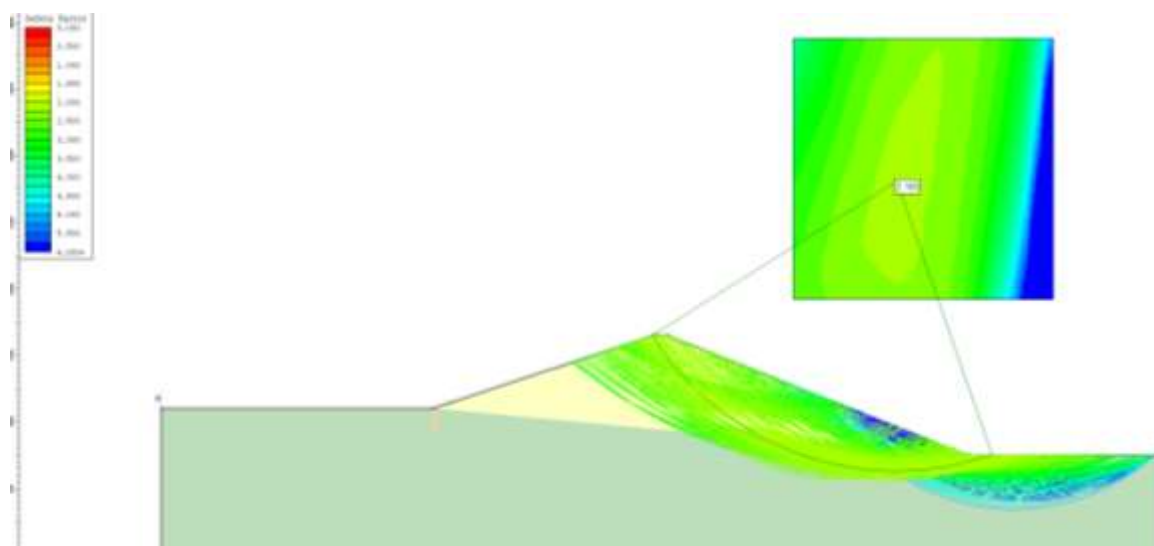
#### D) Presa Vacía Sin Sismo Aguas Abajo

**Figura 123.** Presa vacía sin sismo aguas abajo Bishop



Nota: En la figura 123, se aprecia la presa vacía con sismo aguas abajo con F.S. Bishop= 2.306, imagen obtenida del software Slide.

**Figura 124.** Presa vacía sin sismo aguas abajo Jambu



Nota: En la figura 124, se aprecia la presa vacía con sismo aguas abajo con F.S. JAMBU=2.168, imagen obtenida del software Slide

**Tabla 79.** Cálculo del factor de seguridad contra el deslizamiento de taludes

| CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA EL<br>DESLIZAMIENTO<br>(Aguas Arriba) |           |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Condiciones de Análisis                                                      | Sin Sismo | Con Sismo |
| Presa Vacía                                                                  | 2.989     | 1.45      |
| Presa Llena                                                                  | 3.260     | 1.15      |
| CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA EL<br>DESLIZAMIENTO<br>(Aguas Abajo)  |           |           |
| Condiciones de Análisis                                                      | Sin Sismo | Con Sismo |
| Presa Vacía                                                                  | 2.306     | 1.240     |
| Presa Llena                                                                  | 2.168     | 1.158     |

Nota: En la tabla 79, se aprecia el cálculo de factor de seguridad contra el deslizamiento aguas arriba, aguas abajo

Es por ello que, en base a los resultados obtenidos del análisis de estabilidad del talud aguas arriba, se puede concluir que los factores de seguridad contra el deslizamiento son mayores que los factores de seguridad mínimos. Cabe mencionar que en este análisis no se ha considerado la participación de los anclajes del plinto que irán en su base cimentada, lo cual incrementaría aún más los factores de seguridad.

Asimismo, con respecto al talud aguas abajo, todos nuestros factores de seguridad son mayores a los mínimos factores de seguridad permitidos, por lo cual no debemos hacer ninguna modificación y se puede concluir que la presa es estable.

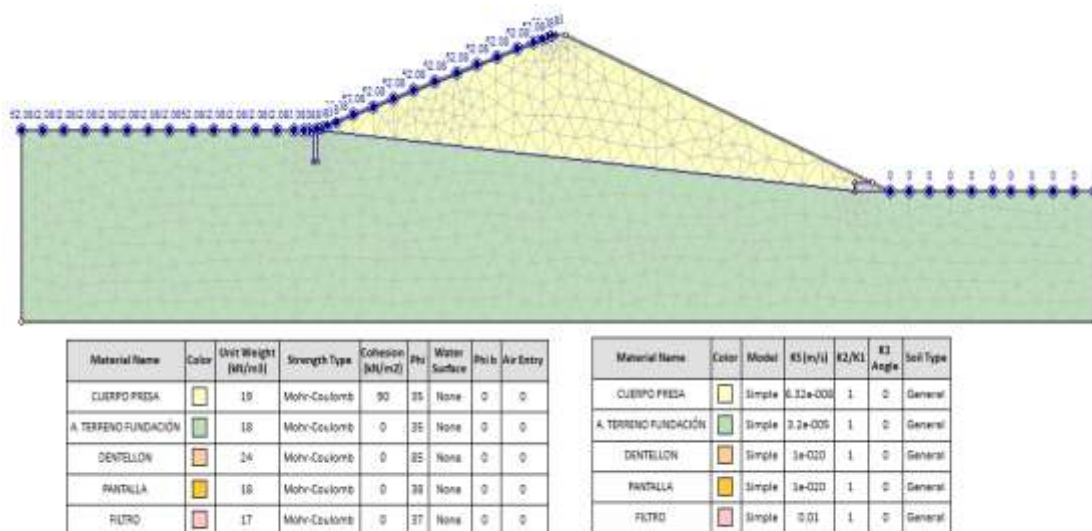
**4.1.6.7. Análisis de Filtración (Redes de flujo).** Al estar el dique en contacto directo con el agua del depósito, esta se filtra por orificios, grietas y poros, teniendo las siguientes consecuencias:

- Pérdida de agua por filtración.
- Posible migración de material fino con agua filtrada.
- Presiones hidrostáticas en el interior de la presa, que aumentan bajo la influencia de fuerzas externas que actúan sobre el sistema de esfuerzos.

Estos efectos son más evidentes con presas de material suelto, aunque de forma diferente. Lo primero sería económico sólo si no conllevara lo segundo, que es de fundamental importancia en el caso de presas de materiales a granel por el peligro de deterioro interno gradual.

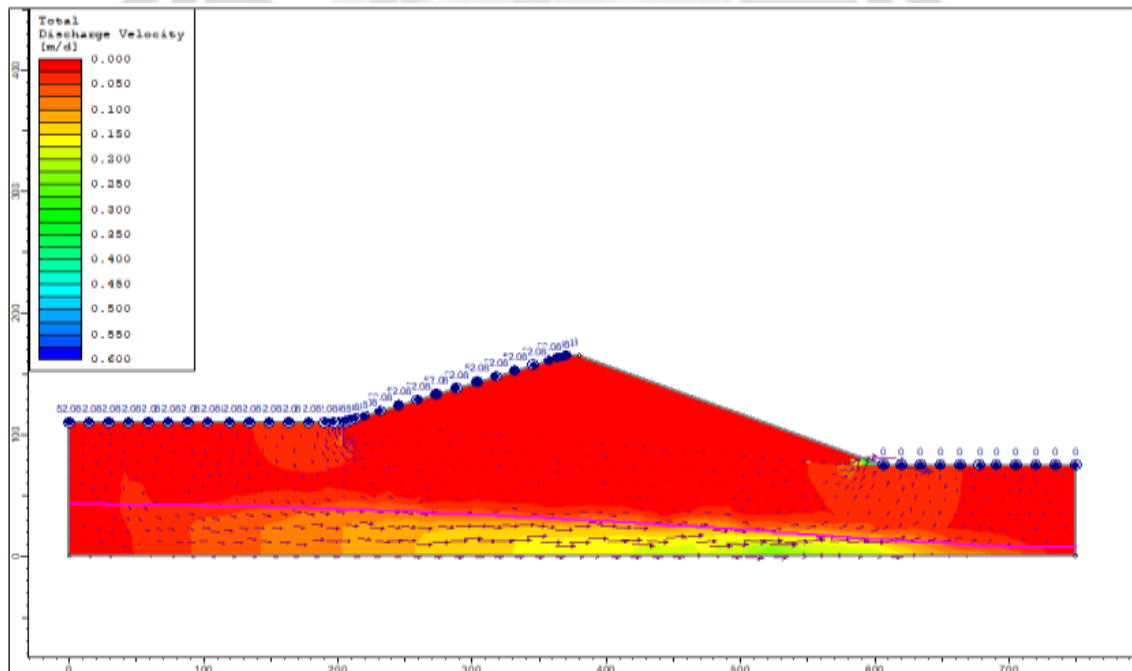
Asimismo, se ha elaborado las redes de flujo con la ayuda del Software SLIDE versión 6, en este se han utilizado la siguiente consideración todas las consideraciones que se están planteando a la presa, el uso de la geomembrana con geotextil, así como el dentellón, y también el filtro escollera.

**Figura 125.** Discretización por método de elementos finitos



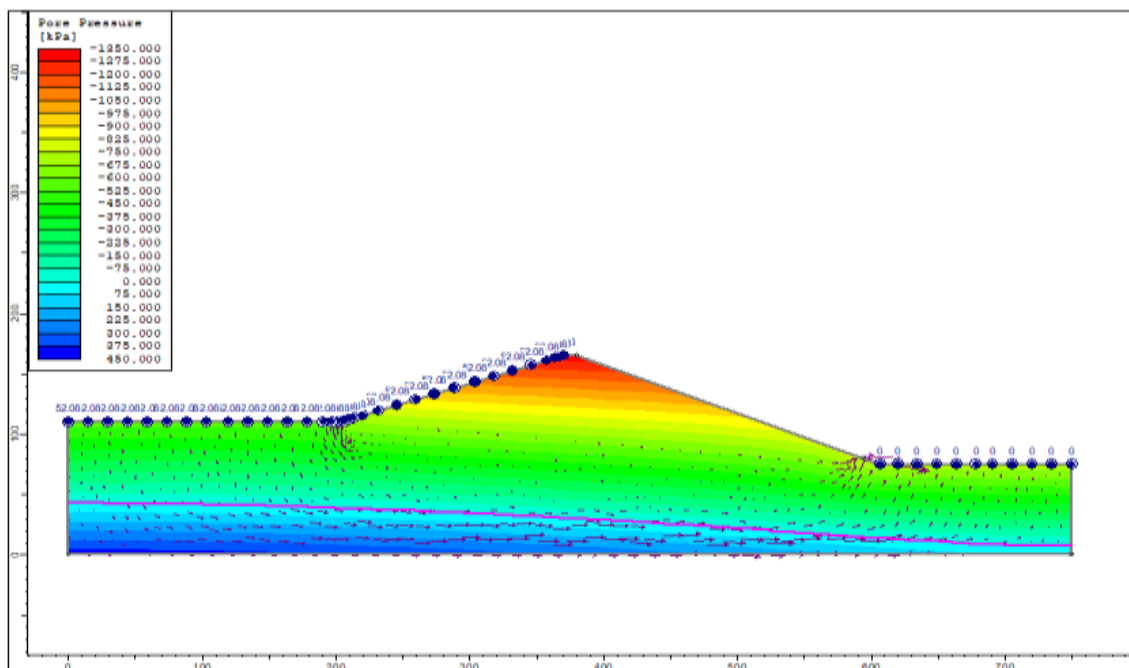
Nota: En la figura 125, se aprecia la discretización por método de elementos finitos, imagen obtenida del software Slide.

**Figura 126.** Flujo de filtraciones por método de elementos finitos



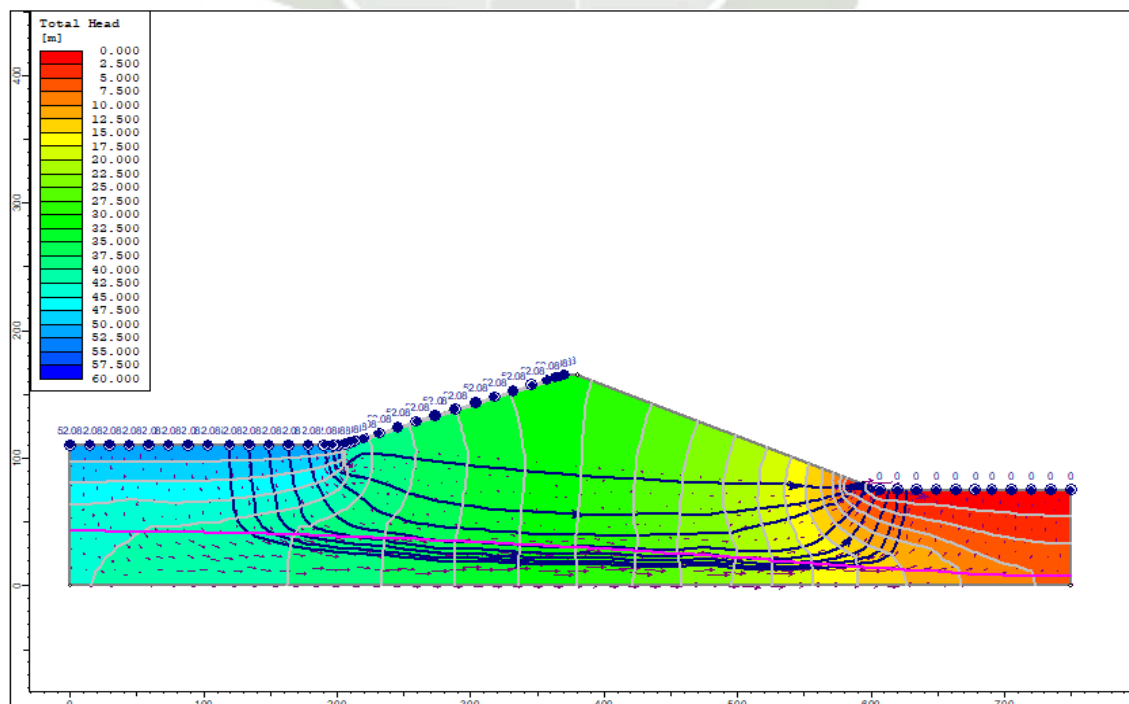
Nota: En la figura 126, se aprecia el Flujo de filtraciones por método elementos finitos, imagen tomada del software Slide.

**Figura 127.** Análisis de presión por método de elementos finitos



Nota: En la figura 127, se aprecia el Flujo de filtraciones por método elementos finitos, imagen tomada del software Slide

**Figura 128.** Líneas equipotenciales, Altura total (presión) por método elementos finitos



Nota: En la figura 128, se puede apreciar las líneas equipotenciales, altura total (presión) por método de elementos finitos, imagen tomada del software Slide.

**4.1.6.8. Diseño del Filtro de la presa.** En la colocación del filtro deben tenerse en cuenta las siguientes especificaciones técnicas:

- La granulometría de los filtros debe ser monitoreada en laboratorio durante su fabricación en campo, asegurando el cumplimiento de la granulometría de diseño.
- La primera capa del filtro, ya extendida, debe compactarse al menos a una densidad relativa de 95 % obtenida en el laboratorio, teniendo en cuenta su humedad óptima.
- Después de la inspección y aprobación residencial, sellado de la primera capa, se recorta la superficie y se continúa con una segunda capa de filtro No. 2, luego se continúa con la compactación hasta lograr las mismas propiedades de sellado que la capa anterior.
- La tercera capa se extiende luego por el mismo procedimiento que la capa anterior con una rejilla de filtro No. 1 y debe compactarse hasta que sea aceptada. El filtro de colchón

Está diseñado utilizando el método racional propuesto por Terzaghi, quien recomienda los siguientes límites para lograr la estabilidad del filtro cuando hay espacio y aumentar significativamente la permeabilidad entre el cuerpo del dique y el filtro:

- $D_{15} \text{ de filtro} / D_{15} \text{ de dique. cuerpo, } 5-40$ . Esta relación debe seguirse hasta que el filtro contenga no más de 5 % material más fino que 0,074. mm ( $N^*$  malla 200)
- $D_{15} / D_{85}$ , del cuerpo del dique ,5 a menos
- $D_{85} \text{ del filtro/ altura máxima tapiz, } 2 -a \text{ más}$

La curva granulométrica del filtro debe ser aproximadamente paralela al material base y cuerpo de la presa.

En las reglas anteriores, el tamaño de D15, cuyo tamaño es un total de 15 % de partículas de suelo más pequeñas, es el peso en porcentaje y se determina por análisis granulométrico. El tamaño de D85 es que las partículas de 85% son más pequeñas. Si se requiere más de una capa para el filtro, se aplica el mismo criterio, el filtro más fino se considera el material base al seleccionar el tamaño de grano del material más grueso.

Además de los límites establecidos para un diseño de filtro adecuado, el tamaño de partícula de 3 pulgadas es la separación máxima y la cuña utilizada en el filtro, lo que crea grandes espacios de partículas cuando se colocan los filtros. materiales filtrantes. Además, al diseñar materiales base que contengan partículas de grava, se deben analizar los materiales base con una característica de clasificación menor

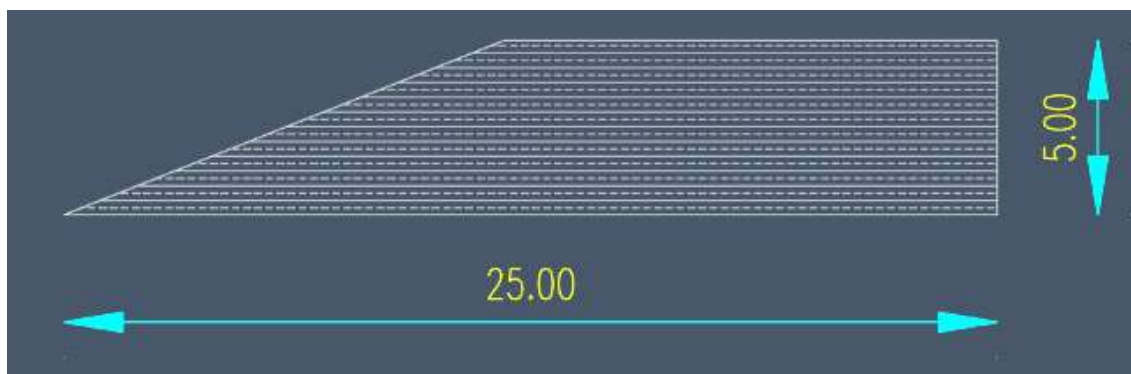
Al construir las zonas de grava y arena de los terraplenes, es importante compactar el material de filtro con la misma densidad que sea necesaria., es necesario asegurarse de que los materiales del filtro estén colocados para evitar la separación.

El colchón está hecho del mismo material impermeable que el roble. El espesor mínimo recomendado es de 1,0 m. Se recomienda una longitud de colchón de al menos H,

#### **Dimensionamiento del filtro:**

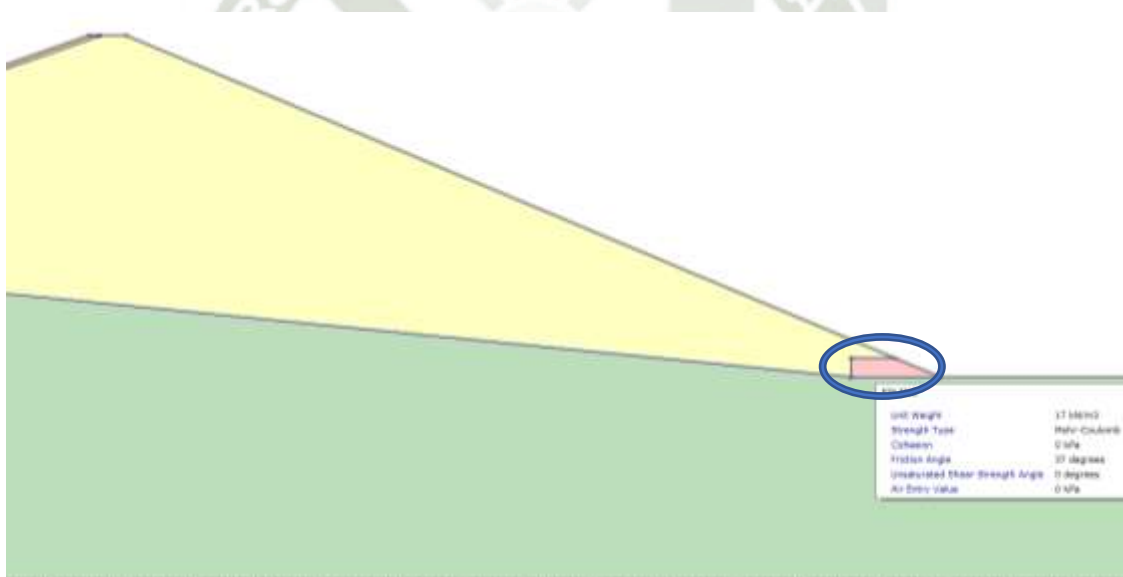
- Espesor asumido (m) = 5m
- Longitud asumida (m)= 25m

**Figura 129.** Dimensionamiento del filtro de la presa



Nota: En la figura 129, se aprecia los valores obtenidos para el dimensionamiento del filtro de la presa, el cual fue de 25 m de longitud y 5 m de ancho, imagen tomada de AutoCAD civil 3D

**Figura 130.** Filtro de la presa

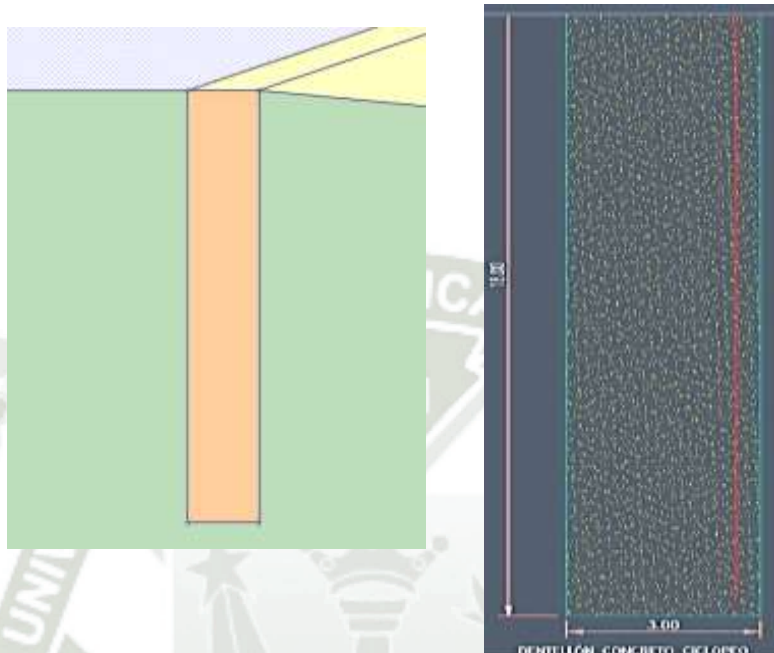


Nota: En la figura 130, se puede apreciar el filtro de la presa, imagen tomada del software Slide.

**4.1.6.9. Diseño del dentellón.** Para el diseño del dentellón se tomaron en cuenta dos factores, primero la estabilidad de los taludes de la presa tanto aguas arriba como aguas abajo siendo el más crítico la cara húmeda de la presa y segundo, el análisis de filtraciones. El diseño del dentellón se realizó tomando en cuenta dos tipos de concreto uno de 210 y otro de 280 kg/cm<sup>2</sup>. Escogiendo el primero (210 kg/cm<sup>2</sup>).

Asimismo, las dimensiones fueron obtenidas por prueba y error, considerando al final 18 metros de largo y 3 metros de ancho de forma óptima.

**Figura 131.** Diseño del dentellón



Nota: En la figura 131, se puede apreciar el diseño del dentellón de la presa, imagen tomada del software Slide y civil 3D.

#### **4.1.6.10. Diseño Hidráulico.**

**4.1.6.10.1. Diseño Hidráulico de Aliviadero.** La función de los vertederos de las presas es dejar pasar los caudales excesivos que se pueden producir durante la época de lluvias.

A la hora de calcular la capacidad de evacuación de un vertedero, los diques de tierra y enrocado son muy importantes, y existe riesgo de destrucción si se cruzan; mientras que las presas de hormigón toleran una superposición moderada.

Además, el aliviadero debe ubicarse de modo que el derrame no corra o debilite el talón de la presa. La superficie que forma la desembocadura de la presa debe soportar

los índices de erosión provocados por la caída del agua efluente desde la superficie del embalse, y suele ser necesario algún medio para disipar la energía en el tramo de caída.

Los tipos de presas vertederos se clasifican según sus características más importantes, ya sea según el sistema de control, ya sea el sistema de descarga o algún otro componente. A menudo se clasifican como administrados o no administrados en función de si tienen o no puertos. Suele clasificarse como vertedero libre (caída recta), vertedero lateral, canal abierto (bajo o alto desnivel), tubería de túnel, boca de goteo (pozo o embudo), tambor o sifón. En un caso similar al nuestro, se implementó un vertedero en el mismo dique de caída recta y de descarga libre.

Caudal máximo de diseño ( $m^3/s$ ): 21.41

Coeficiente de descarga ( $1.7c$ ): 1.45

Altura de presa (msnm): 4294.00

### **Medidas propuestas**

Longitud de la cresta (m): 18.24

Carga de vertedero (m): 1.0

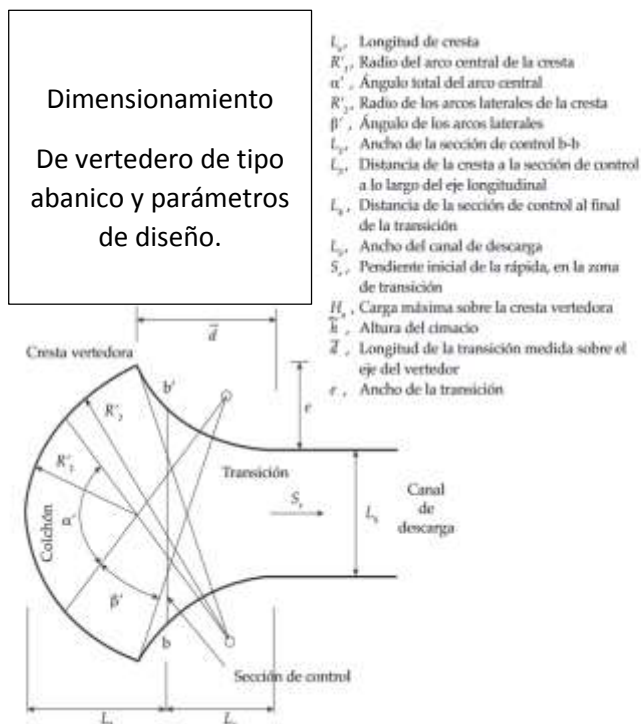
### **Comprobación de parámetros propuestos**

$$Q = 1.7c L h^{3/2} \quad (\text{Ec. 4.29})$$

Capacidad de descarga ( $m^3/s$ ) = **26.45**

¿es mayor el caudal máximo de diseño? = si

Cota de espejo de agua (msnm)= **4293.00**



| Dimensionamiento (m) |       |
|----------------------|-------|
| L5                   | 16.3  |
| R1                   | 18.25 |
| I3                   | 18.61 |
| I4                   | 30.41 |
| I2                   | 34.06 |
| R2                   | 60.82 |

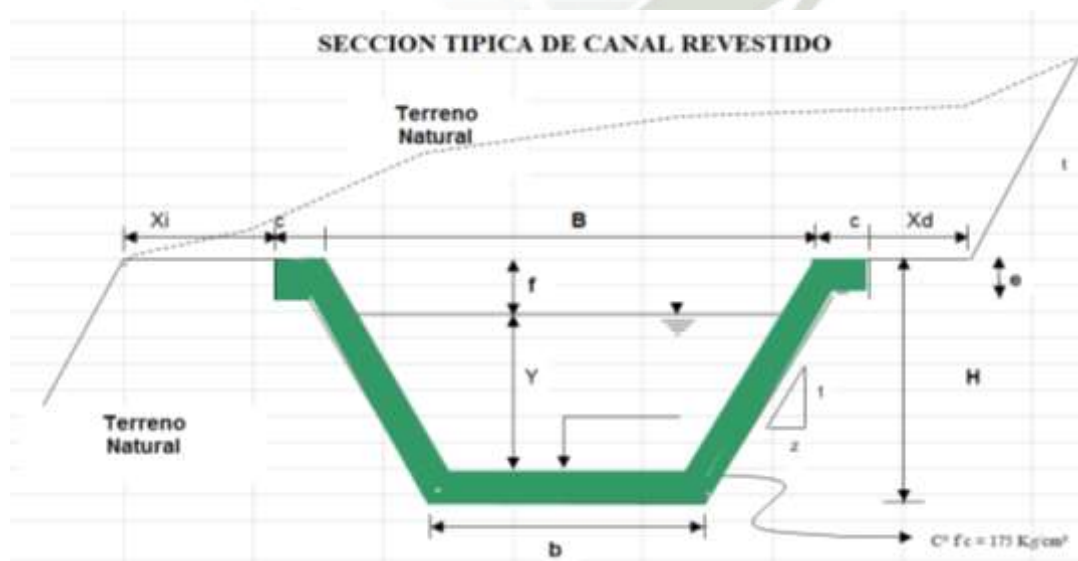
Tabla 80. Dimensiones de vertedero tipo abanico.

figura 132. Dimensionamiento de vertedero

Por lo tanto, el Vvertedero de cresta ancha será de sección tipo abanico y verterá hacia el canal de alivio que está diseñado de la siguiente manera.

#### 4.1.6.10.2. Diseño del Canal de Alivio

Figura 133. Sector típico de canal de alivio



Nota: En la figura 133, se puede apreciar el sector típico al canal de alivio.

**Tabla 81.** *Diseño de canales*

| CATEG.       | CANAL      | COTA     | COTA     | LONG.  |
|--------------|------------|----------|----------|--------|
|              | ALIVIADERO | SUPERIOR | INFERIOR |        |
|              |            | m        | m        | m      |
| <b>PRESA</b> | TRAMO I    | 4292.00  | 4200.00  | 485.00 |

Nota: En la tabla 81 se puede apreciar los valores obtenidos en cuanto al diseño de presa, donde se observa la categoría del canal, el canal de aliviadero, cota superior, cota inferior y longitud.



**Tabla 82.** Características hidráulicas

| CATEG. | CANAL   | CARACTERISTICAS HIDRAULICAS |       |       |        |                |      |      |      |      |         |         |            |                   |
|--------|---------|-----------------------------|-------|-------|--------|----------------|------|------|------|------|---------|---------|------------|-------------------|
|        |         | Q                           | n     | S     | y      | A              | P    | R    | T    | V    | E       | Re      | TIPO DE    | F                 |
|        |         | (max)                       |       |       |        |                |      |      |      |      |         |         | FLUJO      | ESTADO DE FLUJO   |
|        |         | m <sup>3</sup> /s           |       | m/m   | m      | m <sup>2</sup> | m    | m    | m    | m/s  | m-Kg/Kg |         |            |                   |
| PRESA  | TRAMO I | 21.410                      | 0.014 | 0.190 | 0.1508 | 2.46           | 16.6 | 0.15 | 16.3 | 8.71 | 4.02    | 1285325 | Turbulento | 7.16 Supercrítico |

Nota: En la tabla 82, se aprecia las características hidráulicas obtenidas en el canal de aliviadero

**Tabla 83.** Características geométricas del canal de aliviadero

| CATEG. | CANAL   | CARACTERISTICAS |      |      |      |      | CARACTS. GEOMS. ASUMIDAS |          |          |          |          | CARACTERISTICAS |          |
|--------|---------|-----------------|------|------|------|------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------------|----------|
|        |         | GEOMETRICAS     |      |      |      |      |                          |          |          |          |          | CONSTRUCTIVAS   |          |
|        |         | b               | B    | f    | H    | z    | <u>b</u>                 | <u>B</u> | <u>f</u> | <u>H</u> | <u>z</u> | SECCION         |          |
|        |         | m               | m    | m    | m    |      | <u>m</u>                 | <u>m</u> | <u>m</u> | <u>m</u> |          |                 |          |
| PRESA  | TRAMO I | 16.3            | 16.3 | 0.10 | 0.25 | 0.00 | 16.3                     | 16.3     | 0.30     | 0.50     | 0.00     | Rectangular     | Concreto |

Nota: En la tabla 83, se aprecia las características geométricas obtenidas y las asumidas, en el canal de aliviadero en el tramo 1

**Figura 134.** Sección del canal



Nota: En la figura 134, se aprecia las secciones del canal con el cálculo de tirante, se obtuvo un caudal ( $Q$ )=21.41 m<sup>3</sup>/s, tirante normal= 0.1508 m, espejo de agua= 16.30 m, número de froude ( $F$ )= 7.16, perímetro ( $p$ )= 16.60m, radio hidráulico= 0.148 m, velocidad ( $v$ )= 8.71 m/s, energía específica ( $E$ )= 4.02 m.kg/kg, datos obtenidos del software Hcanales.

#### 4.1.6.11. Diseño hidráulico de la tubería de descarga.

##### 4.1.6.11.1. Predimensionamiento de la tubería.

Para esto trabajaremos con la ecuación de la energía, considerando que esta tubería va trabajar bajo presión. Asimismo, la estructura de descarga tendrá 2 tuberías de igual diámetro y material. Una para la distribución a la población, y otra para la limpieza cada 5 años de sedimentos. Dicha limpieza se realizará en el mes de octubre, donde el nivel de aguas en la represa es prácticamente nulo, acorde al balance hídrico realizado.

**Tabla 84.** Tubería de descarga

| TUBERÍA DE DESCARGA    |         |
|------------------------|---------|
| MES DE MÁXIMA DEMANDA: | AGOSTO  |
| DIAS /MES              | 31 días |

---

|                 |           |        |
|-----------------|-----------|--------|
| DEMANDA MENSUAL | 273480.37 | m3/mes |
|-----------------|-----------|--------|

|                    |       |      |
|--------------------|-------|------|
| Caudal Instantáneo | 0.102 | m3/s |
|--------------------|-------|------|

|                    |        |      |
|--------------------|--------|------|
| Caudal Instantáneo | 102.11 | Lt/s |
|--------------------|--------|------|

|               |   |  |
|---------------|---|--|
| Factor de Uso | 2 |  |
|---------------|---|--|

|                           |        |      |
|---------------------------|--------|------|
| Caudal Máximo Instantáneo | 204.21 | Lt/s |
|---------------------------|--------|------|

#### **TUBERIA DE DESCARGA**

|                         |        |       |
|-------------------------|--------|-------|
| Caudal de diseño. (Qmd) | 204.21 | lts/s |
|-------------------------|--------|-------|

|                            |     |    |
|----------------------------|-----|----|
| Longitud de Conducción (L) | 609 | m. |
|----------------------------|-----|----|

|                   |      |    |
|-------------------|------|----|
| Cota de Captación | 4255 | m. |
|-------------------|------|----|

|                |      |    |
|----------------|------|----|
| Cota de Caseta | 4200 | m. |
|----------------|------|----|

|              |     |   |
|--------------|-----|---|
| Material (C) | 150 | - |
|--------------|-----|---|

|                  |    |    |
|------------------|----|----|
| Carga disponible | 55 | m. |
|------------------|----|----|

|                                |       |    |
|--------------------------------|-------|----|
| Perdida de carga unitaria (hF) | 9.03% | %o |
|--------------------------------|-------|----|

|                      |        |    |
|----------------------|--------|----|
| Diámetro (tentativo) | 0.2168 | m. |
|----------------------|--------|----|

|  |      |       |
|--|------|-------|
|  | 8.54 | Pulg. |
|--|------|-------|

|                      |       |       |
|----------------------|-------|-------|
| Diámetro (elegido) - | 15.00 | Pulg. |
|----------------------|-------|-------|

|  |      |    |
|--|------|----|
|  | 0.38 | m. |
|--|------|----|

|                            |        |    |
|----------------------------|--------|----|
| Área de diámetro (elegido) | 0.1138 | m2 |
|----------------------------|--------|----|

#### **VERIFICACION A LO LARGO DE TODO EL TRAMO**

|                                |         |     |
|--------------------------------|---------|-----|
| Perdida de carga unitaria (hF) | 0.00577 | m/m |
|--------------------------------|---------|-----|

---

|                                     |         |     |
|-------------------------------------|---------|-----|
| Perdida de carga (HF) todo el tramo | 3.51    | m.  |
| Cota piez. reserv.                  | 4251.49 | m.  |
| Presión final del tramo             | 51.39   | m.  |
| Velocidad en tubería                | 1.80    | m/s |

Nota: En la tabla 84, se aprecia los valores resultantes en cuanto a la tubería de descarga y la verificación a lo largo del tramo, destacando que el mes de máxima demanda es agosto.

Es por ello que, se estima que la tubería de descarga está diseñada para el caudal de demanda del sistema hídrico  $Q=204.21\text{lt/s}$ .

**4.1.6.11.2. Golpe de ariete.** En el control, la fuerza de inercia del fluido en un estado dinámico se produce después de que se cierran las válvulas, las depresiones provocadas por el movimiento ondulatorio de la columna de fluido y la presión hasta que se detiene toda la masa de fluido. Las reducciones o sobrepresiones comienzan en su máximo cuando se cierran las válvulas o se cala el motor, disminuyendo hasta desaparecer, quedando el accionamiento en estado estático.

El valor del golpe de ariete se ve afectado por varios factores, como la velocidad del tiempo de apagado, que a su vez puede cerrar la válvula de compuerta. Otros factores serían: la velocidad del agua dentro de la conducción.

De acuerdo a la siguiente ecuación se obtuvo el siguiente resultado:

#### Velocidad de propagación de fluido

$$C = \sqrt{\frac{\frac{E_p g}{p}}{\left(\frac{E_p}{E_w}\right) + \left(\frac{dm}{e}\right)}} \quad (\text{Ec. 4.33})$$

**Tabla 85.** Resultados para la velocidad de propagación de fluido

|                                                        |                 |
|--------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Ep: Modulo de elasticidad de la tubería (kg/m2)</b> | <b>81600000</b> |
| g: Aceleración de gravedad (m/s2)                      | 9.81            |

|                                                             |               |
|-------------------------------------------------------------|---------------|
| p: peso específico del fluido (agua=1000kg/m <sup>3</sup> ) | 1000          |
| Ew: módulo de elasticidad del fluido (kg/m <sup>2</sup> )   | 224337600     |
| dm: Diámetro medio de la Tubería (m)                        | 0.38          |
| e: espesor de pared de la tubería (m)                       | 0.0049        |
| <b>c (m/s) =</b>                                            | <b>101.36</b> |

Nota: En la tabla 85, se aprecia los resultados para la velocidad de propagación de fluido en el golpe de ariete, el cual es de **101.36 m/s**.

### Tiempo de cierre de la válvula

$$t = \frac{2L}{c} \quad (\text{Ec. 4.34})$$

Obteniendo

L= Longitud de la tubería (m): 609

t= Tiempo de cierre (seg): 12.016

### Sobrepresión debido a golpe de ariete

$$\Delta p = \frac{c \cdot \Delta V}{g} \quad (\text{Ec. 4.35})$$

$\Delta V$ = Velocidad media del fluido (m/s): 1.80

$\Delta p$ = Sobrepresión debido a golpe (m): 18.60

P= Presión hidráulica (m): 51.49 mínima(CAPTACIÓN)

P= Presión hidráulica (m): 88.49 máxima (NAMO)

Presión final (m)=70.09 mínima

Presión final (m)= 107.09 máxima

Se escoge Tubería HDPE= PN 12.5 con diámetro de 10 pulgadas.

#### 4.1.6.11.3. DISEÑO DE DESARENADOR Y SEDIMENTADOR

##### 4.1.6.11.3.1. Diseño de desarenador y criterios de diseño

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- El número de unidades mínimas en paralelo es 2 para efectos de mantenimiento. En caso de caudales pequeños y turbiedades bajas se podrá contar con una sola unidad que debe contar con un canal de by-pass para efectos de mantenimiento.
- El periodo de operación es todo el día, es decir las 24 horas.
- Debe existir una transición en la unión del canal o tubería de llegada al desarenador para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada.
- La transición debe tener un ángulo de divergencia suave no mayor de  $12^{\circ} 30'$ .
- La relación largo/ancho debe ser entre 10 y 20.
- La sedimentación de arena fina ( $d < 0.01$  cm) se efectúa en forma más eficiente en régimen laminar con valores de número de Reynolds menores de uno ( $Re < 1.0$ ).
- La sedimentación de arena gruesa se efectúa en régimen de transición con valores de Reynolds entre 1 y 1 000.
- La sedimentación de grava se efectúa en régimen turbulento con valores de número de Reynolds mayores de 1 000.

Para el diseño de un desarenador, se tiene como datos:

Caudal de Diseño: 200 lps

Densidad relativa de la arena: 1.8

Diámetro de la partícula: 0,02 cm

Temperatura del agua: 15 °C

Entonces:

- Se obtiene por la temperatura:  $0.011457 \text{ cm}^2/\text{s}$

Viscosidad Cinemática ( $\eta$ ) =  $1.0105 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$ .

Luego, de la fórmula:

$$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_s - 1}{\eta} \right) d^2 \quad (Ec.4.36)$$

$$V_s = 1.1969801 \text{ cm/s}$$

Luego verificamos a que número de Reynolds pertenece esta velocidad

$$Re = \frac{V_s * d}{\eta} \quad Re = 2.08951749 \quad (Ec.4.37)$$

Dado que le número de Reynolds es mayor a 0.8 utilizamos la ley de Allen

$$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right] \quad (Ec. 4.38)$$

Reemplazando los valores conocidos u dejando como incógnita d

$$1.1969 = 0.22(0.8 \times 9.81)^{2/3} \frac{d}{u^{1/3}}$$

$$d = 0.0198 \text{ cm}$$

Reemplazando los valores en Allen

$$\frac{V_s}{[g(\rho_s - 1)\eta]^{1/3}} = 1 \quad V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right] \quad (Ec. 4.39)$$

$$V_s = 1.20581 \text{ cm/s}$$

Luego verificamos a que número de Reynolds pertenece esta velocidad

$$Re = \frac{V_s * d}{\eta} \quad Re = 2.1049$$

Entonces se encuentra en la zona de transición (ley de Allen).

– Se determina el coeficiente de arrastre:

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34$$

$$C_D = \frac{24}{2.1049} + \frac{3}{\sqrt{2.1049}} + 0.34 = 13.81$$

Entonces la Velocidad de Sedimentación será: (Ec.4.40)

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} (\rho_s - 1) * d}$$

$$V_s = 1.231 \text{ cm/s} \quad (\text{Ec.4.41})$$

Si se asume una eficiencia del 75%, adoptando un coeficiente de seguridad igual a 1,75

$$V_s' = \left( \frac{Q * \text{coefic. segur}}{As} \right)$$

$$As = 28.44 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec.4.42})$$

Se determina las dimensiones de largo, ancho y profundidad respetando los criterios de diseño.

Largo: l = 16 m, Ancho: B = 1.6 m, Profundidad: h = 1.28 m

Luego la velocidad horizontal:

$$V_h = \frac{Q}{A_t} \quad V_h = 9.765625 \quad (\text{Ec.4.43})$$

Se determina el valor de rugosidad de la cámara mediante:

$$R = \frac{4R_m * V_h}{\eta} \quad R = 8770 \quad (\text{Ec.4.44})$$

Luego se obtiene f = 0,03.

– Se determina la velocidad de desplazamiento o re suspensión:

$$V_d = \sqrt{\frac{8k}{f} g (\rho_s - 1) d}$$

$$V_d = 12.921 \text{ cm/s} \quad (\text{Ec.4.45})$$

Lo que indica que no habrá re-suspensión pues  $V_d > V_h$ .

– Se determina el periodo de retención:

$$PR = \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}}$$

$$PR = 163.84 \text{ segundos} \quad (\text{Ec.4.46})$$

Se determina la longitud del tramo de transición.

$$L_1 = \frac{B - b}{2 * \operatorname{tg} \theta}$$

$$L_1 = 0.81 \, m \quad (\text{Ec.4.46})$$

#### 4.1.6.11.3.2. Diseño de sedimentador y criterios de diseño

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- El tiempo de retención será entre 2-6 horas.
- La carga superficial será entre los valores de 2-10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día
- La profundidad del sedimentador será entre 1,5-2,5 m.
- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3-6.
- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5-20.
- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
- La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
- Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.

- La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
- Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.
- El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 l/s
- Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura.

$$\frac{L}{H} = \frac{Vh}{Vs}$$

### Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación

Tabla 86. Relación entre diámetro de partículas y Vs.

|            |       |      |       |         |                                                                                  |
|------------|-------|------|-------|---------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Arena Fina | 0.010 | 0.8  | 0.8   | Laminar | $Vs = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_s - \rho}{\mu} \right) d^2$ <p>Stokes</p> |
|            | 0.008 | 0.5  | 0.6   |         |                                                                                  |
|            | 0.006 | 0.24 | 0.4   |         |                                                                                  |
|            | 0.005 | 1.0  | 0.3   |         |                                                                                  |
|            | 0.004 | 1.0  | 0.2   |         |                                                                                  |
|            | 0.003 | 1.0  | 0.13  |         |                                                                                  |
|            | 0.002 | 1.0  | 0.06  |         |                                                                                  |
|            | 0.001 | 1.0  | 0.015 |         |                                                                                  |

Se tiene como datos:

Caudal de diseño:  $Q = 0.21 \text{ m}^3/\text{seg}$

Velocidad de sedimentación:  $Vs = 0.01231 \text{ m/seg}$

Se determina el área superficial de la unidad ( $As$ ).

$$As = \frac{Q}{Vs}$$

$$As = 17.60 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec.4.47})$$

Se asume un ancho del sedimentador y se determina la longitud de sedimentación.

$$B = 2.5 \text{ m}$$

$$L2 = \frac{As}{B}$$

(Ec.4.48)

$$L2 = 6.823 \text{ m}$$

Se asume la distancia de separación entre la entrada y la pantalla difusora.

$$L1 = 1 \text{ m}$$

Entonces se tiene como longitud de la unidad:

$$L = L1 + L2$$

(Ec.4.49)

$$L = 7.823 \text{ m}$$

Se verifica si cumple la relación de L/B de los criterios de diseño:

- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3-6.

$$\frac{L}{B} = 3.1295$$

Se asume la profundidad

$$H = 1 \text{ m}$$

Se verifica si cumple la relación L/H de los criterios de diseño:

- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5-20.

$$\frac{L}{H} = 7.823 \text{ m}$$

Se determina la velocidad horizontal  $V_H$ .

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H} \quad (\text{Ec.4.50})$$

$$V_H = 8.4 \text{ cm/s}$$

Se determina el periodo de retención:

$$T_o = \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}} \quad (\text{Ec.4.51})$$

$$T_o = 1.35369 \text{ min}$$

Con una pendiente de 10% en el fondo de la unidad se tiene como altura máxima:

$$\dot{H} = 1.1$$

Para el diseño de la pantalla difusora se tiene:

Se asume una velocidad de paso entre los orificios:

$$v_o = 0.1 \text{ m/s}$$

Se determina el área total de los orificios

$$A_o = \frac{Q}{V_o} \quad (\text{Ec.4.52})$$

$$A_o = 2.1 \text{ m}^2$$

Se adopta el área de cada orificio:

$$a_o = 0.0706858 \text{ m}^2$$

Se determina el número de orificios:

$$n = \frac{A_o}{a_o} \quad (\text{Ec.4.53})$$

$$n = 30$$

Se determina la porción de altura de la pantalla difusora con orificios:

$$h = H - \frac{2}{5} H \quad (\text{Ec.4.54})$$

$$h = 0.6 \text{ m}$$

Se asume un número de filas de orificios  $n_f = 5$

Entonces se tiene el número de columnas  $n_c = 6$

Se determina el espaciamiento entre filas:

$$a_1 = \frac{h}{n_f}$$

$$a_1 = 0.12 \text{ m} \quad (\text{Ec.4.55})$$

Se determina el espaciamiento entre columnas:

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2} \quad (\text{Ec.4.56})$$

$$a_2 = 0.95 \text{ m}$$

#### 4.1.6.11.4. Diseño de cámara Rompepresión

La descarga, es una estructura de concreto armado, junto a la cámara de válvulas, aguas abajo del dique. El agua que se almacena, es descargada libremente sobre una pantalla de disipación, con la finalidad de que las aguas sean entregadas al cauce del río en régimen subcrítico. Un canal de concreto y luego enrocado de protección se emplaza a continuación de la estructura de disipación.

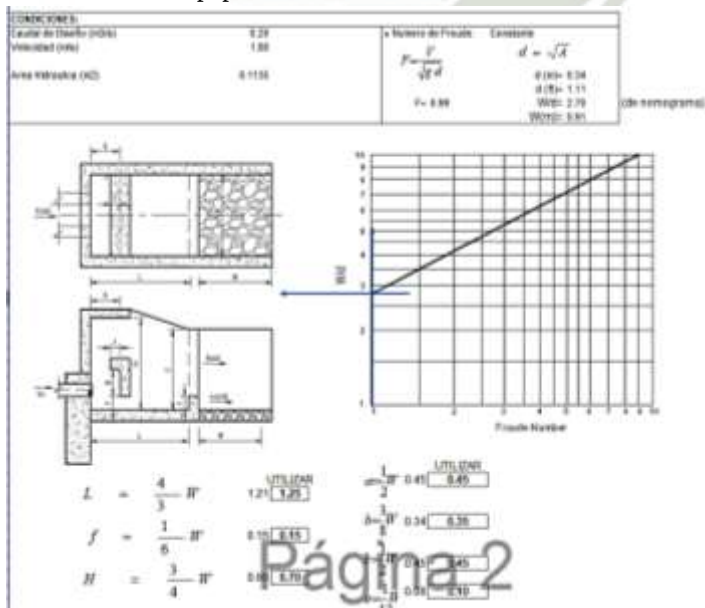
Aunado a ello, esta pantalla será diseñada tomando como referencia el libro “Design of Small Canal Structures” (1978) en el cual indican las dimensiones de esta pantalla de disipación, así como, de la cámara que será necesaria, a su vez el posterior enrocado.

Tabla 87. Diseño de cámara Rompepresión

| DISEÑO DE CÁMARA ROMPEPRESION           |        |  |  |                                  |                |      |      |
|-----------------------------------------|--------|--|--|----------------------------------|----------------|------|------|
| *Bureau of<br>Reclamation               |        |  |  |                                  |                |      |      |
| CONDICIONES:                            |        |  |  |                                  |                |      |      |
| Caudal de Diseño<br>(m <sup>3</sup> /s) | 0.20   |  |  | » Numero de Froude:              | Constante      |      |      |
| Velocidad (m/s)                         | 1.80   |  |  | $F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot d}}$ | $d = \sqrt{A}$ |      |      |
| Área Hidráulica<br>(m <sup>2</sup> )    | 0.1135 |  |  |                                  | d (m)=         | 0.34 |      |
|                                         |        |  |  |                                  | d (ft)=        | 1.11 |      |
|                                         |        |  |  | F=                               | 0.99           | W/d= | 2.70 |
|                                         |        |  |  |                                  |                | W=   | 0.91 |

Nota: En la tabla 87, se puede apreciar el diseño de la cámara Rompepresión, donde se obtuvo en las condiciones un caudal de diseño= 0.20 m<sup>3</sup>/s, velocidad= 1.80 m/s, área hidráulica= 0.1135 m<sup>2</sup>

Figura 135. Diseño de cámara Rompepresión



Nota: En la figura 135, se aprecia el diseño de cámara de Rompepresión, denotando los valores a utilizar para el diseño.

En cierta manera que, ahora para toda esta cámara y el disipador se trabajará con concreto de  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ , menos el enrocado de protección el cual se diseñará con una mampostería. Y con respecto al fierro, será simplemente la cuantía mínima.

#### 4.2. Discusión de los resultados

1-De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio hidrológico, se pudo determinar que el área que cubre la cuenca de Queuñamayo tiene una extensión de 442.09 has y un área de irrigación de 284.30 ha, el perímetro de escorrentía dio un total de 8169.24 m, asimismo la pendiente arrojada corresponde a  $S= 0.321$ , es decir 32.1%, de igual manera la densidad de drenaje  $Dd= 1.204 \text{ km/km}^2$ , en cuanto a la estadística arrojada la tendencia a la media permite determinar la tendencia no es significativa en ninguna de las cuatro estaciones estudiadas, la desviación estándar arrojó un parámetro consistente de igual manera en las cuatro estaciones de estudio, la oferta hídrica arrojada es  $4,223,444.76 \text{ m}^3$ , de la misma manera se obtuvo la temperatura promedio máxima anual fue de 13.60, se empleó el software Soil Characteristics para el análisis de cultivo, lo cual arrojó una humedad del suelo disponible de  $140.00 \text{ mm/m}$ , la saturación hidráulica  $450.96 \text{ mm/d}$ , para los porcentajes de agotamiento inicial de humedad de suelo (%ADT) se tuvo un punto de marchitez de 12.60%, capacidad de campo 26.70% y un agotamiento inicial de humedad de 14.10%. Para las distribuciones estadísticas en las precipitaciones máximas, se desarrollaron 5 tipos. En la distribución normal se obtuvo 0.297 de significancia, de igual manera en las distribuciones LogNormal, Gumbel, LogPearson, Pearson tipo III arrojaron un 0.297 de significancia, es por ello que, al determinar la prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov establece que la distribución Pearson tipo III es la que mejor se ajusta a los requerido. Al final se determinó el caudal máximo, obteniendo el valor de  $Q_{\text{max}}= 21.41 \text{ m}^3/\text{s}$ .

2-De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio topográfico que se realizó en el vaso de la cuenca, se inició primeramente con una visita a la región de Santo Tomás en el departamento de Cusco, específicamente a la cuenca de Queuñamayo, con ello se podrá establecer la ubicación del dique que tendrá la presa, así como determinar el posible vaso de la cuenca. El presente estudio topográfico determinó que se trata de un relieve topográfico accidentado, de fuertes pendientes y depresiones profundas intercaladas a lo largo y ancho de la cuenca y del vaso mismo, además que el relieve presenta vegetación tipo pastizal y sedimentación de rocas, no se observa civilizaciones ni comunidades locales cercanas ni aguas abajo del posible dique de tierra. Se estableció que se trata de un lugar completamente recóndito, de igual manera, el estudio determinó, que la vegetación no es muy variada y la fauna algo escasa.

3-De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de mecánica de suelos, se elaboró en las 12 calicatas en el vaso de la cuenca con la finalidad de determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, de tal forma de poder realizar el diseño de la presa, la clasificación de los suelos según SUCS indica la presencia de una arena con arcilla o lo que podría interpretarse como una arena arcillosa. Asimismo, el tipo de suelo del cuerpo de la presa será de un material “blending” entre el suelo natural del terreno y otro con mayor contenido de arcilla de canteras aledañas. Este nuevo suelo para la presa se clasifica como arcillo arenoso, y será óptimo para evitar las supresiones debajo del dique de tierra.

4- De acuerdo a los resultados obtenidos para el prediseño de la tierra para calcular el caudal de sedimentos y la totalidad de ellos en una estructura de diseño en base a 50 años, se procedió a elaborar la curva altura-área-volumen, se determinó el volumen Altura de sedimentos (Nivel mínimo de operación):4254 msnm y el nivel de aguas máximo de operación: 4292 msnm, para los factores de seguridad mínimos acorde al US Army Corps

of Engineers, los valores que se arrojaron tanto para las condiciones de diseño en talud aguas arriba y talud aguas abajo cumplen con los requerimientos mínimos(3:1 y 2.5:1) y por ende, es estable la presa por ambos lados. El pre dimensionamiento de la presa nos da un dique de tierra con una altura de 70 metros incluido los 2 metros de borde libre. Asimismo, un ancho de corona de 11 metros. La cara aguas arriba(húmeda) será cubierta con geo membrana y geotextil con un pequeño enrocado de protección, impermeabilizando dicha cara en aras de evitar el núcleo de arcilla reduciendo las infiltraciones en la presa. Las dimensiones del filtro, se consideró el espesor asumido (m)= 5 y la longitud asumida (m)= 25m, asimismo, las dimensiones del dentellón son: espesor asumido(m)= 3 y profundidad (m) = 18 m. Para el diseño hidráulico de estructuras, en el aliviadero se consideró el caudal máximo de diseño ( $m^3/s$ ): 21.41, coeficiente de descarga (1.7c), altura de presa (msnm): 4294.00, se propuso longitud de la cresta tipo abanico (m): 18.24, carga de vertedero (m): 1.0 y se comprobó asumiendo la capacidad de descarga ( $m^3/s$ ) = 26.45, cota de espejo de agua (msnm)= 4293.00.Se determinó el diseño hidráulico de la tubería de descarga tomando en cuenta el mes de máxima demanda el cual fue agosto, la demanda mensual es de 273480.37  $m^3$ /mes, el caudal instantáneo es de 0.102  $m^3/s$ , factor de uso a considerar es 2, caudal máximo instantáneo es de 204.21 lps, para la tubería de descarga la longitud de conducción requerida es de 609 m, la cota de captación es 4254 m, la cota de caseta es 4200 m, carga disponible es de 55 m, pérdida de carga unitaria de 9.03%, diámetro tentativo es 0.2168m, diámetro elegido 0.38m.

## CONCLUSIONES

1-El estudio hidrológico permitió determinar la oferta hídrica necesaria para abastecer la población del vital líquido, la oferta hídrica que se obtuvo es de 4,223,444.76 m<sup>3</sup>, la cual es suficiente para satisfacer la demanda que requiere la población de Santo Tomás para consumo humano y para satisfacer el uso para el sector agrícola para la comunidad de Orccoma, lo que le permite mejorar su calidad de vida, asimismo la pendiente arrojada corresponde a  $S = 0.321$ , es decir 32.1%, haciendo que el flujo de agua sea conciso y llegue a la comunidad de manera fluida, de igual manera la densidad de drenaje  $Dd = 1.204 \text{ km/km}^2$ , se obtuvo la temperatura promedio máxima anual la cual fue de 13.60, de igual manera las precipitaciones promedio de acuerdo al polígono de Thyssen se distribuyó en 4 áreas que representaron 4 estaciones de estudio, para Santo Tomás automático la precipitación fue de 74.19, en Santo Tomás convencional es de 79.11, Marca Cunka de 83.82, para Visca Visca de 89.69 con un promedio de 79.61, con ello se convierte en un sistema funcional y accesible que beneficiará a 27403 habitantes que residen actualmente en el poblado de Santo Tomás y a su población futura.

2-El estudio de la topografía permitió conocer el tipo de terreno y relieve existente en la zona, con ello determinar la viabilidad del proyecto y la factibilidad del mismo, asimismo; ya que, al tratarse de un relieve topográfico accidentado, de fuertes pendientes y depresiones profundas intercaladas a lo largo y ancho de la cuenca y del vaso mismo, evidenciando de igual manera, que el relieve presenta vegetación tipo pastizal y sedimentación de rocas, con ello, conocer y establecer la ubicación del dique que tendrá la presa.

3-La realización del estudio de suelo, nos da a conocer el tipo de suelo existente, el cual determinó la presencia de arena arcillosa, por lo que, el pre dimensionamiento y diseño de la presa debe adaptarse y realizarse de acuerdo al suelo presente en la zona.

4- La viabilidad de la presa depende de 3 factores intrínsecamente relacionados: el estudio hidrológico con el balance hídrico positivo, la topografía de la cuenca en especial del área del vaso de la cuenca y las propiedades físico mecánicas del suelo. En este caso, el proyecto de tesis es técnicamente viable ya que cumple con todos los factores necesarios para su construcción.

5- Si bien es cierto las presas de concreto son más resistentes y durables; por la ubicación de la cuenca, el tipo de material del suelo y el aspecto económico, resulta más viable desarrollar una presa de material suelto(tierra).

6- El uso de geo membrana y geotextil de refuerzo, evitará el uso de núcleo de arcilla y además reducirá el ancho de la presa de manera notable al ser de material homogéneo, evitando así interferir con la curva de la carretera cercana. Asimismo, la presa de tierra será de otro material mejorado en aras de evitar la supresión y filtraciones, además de estructuras complementarias de utilidad como lo son el dentellón de concreto y filtro de arena esquinado.

7- Existen diferentes métodos para determinar muchos datos obtenidos, no obstante, los métodos empleados son los más convenientes analizados acorde a las necesidades y a la cantidad de datos con los que se pueda disponer. Asimismo, el uso de softwares como metodología en el presente proyecto de investigación es fundamental ya sea para comparar resultados y/o verificar el correcto diseño y pre dimensionamiento de la presa. No obstante, en la presente tesis se combina tanto los softwares como el desarrollo manual de los cálculos en aras de aprender y conocer a mayor profundidad sobre el tema.

## RECOMENDACIONES

1-Se recomienda antes de diseñar o pre dimensionar una presa cualquiera, elaborar un estudio hidrológico que te permita determinar el balance hídrico y demanda de agua que soportará el diseño, tal y como se realizó en la presente tesis partiendo de las precipitaciones suministradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en un periodo mínimo de 20 de años, y los agentes atmosféricos tales como la temperatura, evapotranspiración, humedad, viento, horas de sol, entre otros, además de considerar los parámetros geomorfológicos y estadísticos de la cuenca a estudiar.

2-Se recomienda elaborar un estudio topográfico más detallado con el propósito de conocer el tipo de relieve, características y formaciones rocosas y de terreno presentes en la zona de estudio, dando una alternativa que permite considerar los aspectos que se consideran antes de plantear un diseño o pre dimensionamiento de una presa de tierra.

3-Es recomendable conocer el tipo de suelo existente; ya que, permitirá saber si es viable aplicar el diseño y dimensionamiento en el suelo existente, mediante la realización del estudio de suelo a mayor profundidad (características físico mecánicas), conociendo el análisis granulométrico, límites de consistencia, ensayo de Proctor modificado, carga admisible o capacidad portante, del mismo modo, la gradación y el tipo de cimentación.

4-En aras de reducir la altura de la presa calculada en condiciones naturales, es necesario perfilar el área del vaso de la cuenca y usar dicho material para la construcción del mismo dique mejorando dicho material con canteras aledañas. Se recomienda que en vez de trabajar con el terreno natural se efectuó un perfilado del vaso de la cuenca hasta que asemejé a una U o una herradura.

5-Se recomienda fijar las posibles canteras antes de iniciar el proyecto de préstamo de materiales dado que el material siempre tiene que ser diferente(mezclado) al de fundamentación porque se evitó el uso de un núcleo de arcilla.

6-Se recomienda realizar un estudio de las rocas donde se realizarán los estribos de la presa a manera de determinar el diseño del mismo si es que fuese necesario empleando inyecciones de concreto, como procedimiento constructivo.

7-En una posible construcción del presente proyecto, será necesario elaborarlo de manera completa el diseño del dique de tierra realizando un expediente técnico abarcando más ramas de la ingeniería civil (geotecnia, estructuras, etc.) estudiando su completa viabilidad no solamente en el aspecto técnico sino también económico.

8-Se recomienda el uso de una capa de arcilla compactada únicamente en el vaso de la cuenca, en aras de impermeabilizarlo aún más y poder reducir las pérdidas por infiltración aumentando la cantidad de agua posible de almacenamiento y posterior distribución.

9-Serán necesarios cortes transversales a cada 10 o 20 metros si se desarrolla este dique a mayor profundidad con el uso de la geotecnia, ya que al ser solo un pre diseño hidrológico -hidráulico se usó el corte transversal más crítico(central) para los respectivos cálculos en todo el largo de la presa.

10-La parte de distribución de agua para el consumo humano y agrícola, es un tema importante que surge de este proyecto pudiendo ser usada para otra tesis de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, P. & Sierra, L. (07 de noviembre de 2013). *Evaluación de Métodos de Construcción de Curvas IdF A Partir de Distribuciones de Probabilidad y Parámetros de Ajuste*.
- Alcántara, D. (2014). *Topografía y Sus Aplicaciones* (1 ed.). (C. E. Continental, Ed.) Ciudad de México, México.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie* (1 ed.). México D.F, México.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. (Episteme, Ed.) Caracas, Venezuela. Recuperado el 03 de agosto de 2022.
- Ascue, G. (2018). *Curva Altura- Área- Volumen*. Obtenido de <https://vsip.info/curva-altura-area-volumen-pdf-free.html>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Planificación Hídrica en el Perú*. Lima. Recuperado el 15 de enero de 2022.
- Cahuana, A. & Yugar, W. (2009). *Material de Apoyo Didáctico Para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología Civ-233*. Cochabamba. Recuperado el 05 de abril de 2022.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil* (2 ed.). Lima, Perú. Recuperado el 08 de agosto de 2022.
- Chow, V. (1964). *Hidrología Aplicada* (1 ed.). (M. G. Hill, Ed.) Bogotá, Colombia.
- Chumbivilcas. (2021). *¿Se Sepultarán Nuestras Costumbres?* Arequipa, Perú.
- Correa, I. (2018). *Análisis del uso de Geosintéticos como Componentes en la Estabilización de Taludes y Refuerzo de la Presa de Relaves Animon [Para optar al título de Ingeniero Civil]*. Cerro de Pasco, Perú.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración Del Cultivo. En O. D. Alimentación*. Roma, Italia.

- FAO. (2022). *CLIMWAT*. Obtenido de <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>
- FAO. (2022). *Land & Water*. Obtenido de <https://www.fao.org/land-water/en/>
- Gobierno de México. (18 de octubre de 2019). *¿Sabes Cual es la Función de las Presas?* Obtenido de <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/sabes-cual-es-la-funcion-de-las-presas>
- Gutiérrez, J. (2015). *Pre-Diseño de Presa de Tierra en el Rio Piedras, en la parroquia Julio Moreno, provincia de Santa Elena. [Para optar al título de Ingeniero Civil]*. Samborondón.
- Hernández, R. Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6 ed.). (M. G. Hill, Ed.) Ciudad de México, México. Recuperado el 05 de agosto de 2022.
- Ibáñez, S. (2011). *Métodos para la Determinación del Coeficiente de Escorrentia*. Valencia, España.
- Ingeniería de Fluidos. (2022). *Golpe de Ariete*. Obtenido de <https://www.ingenieriadefluidos.com/golpe-de-ariete>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2019). *Índice de Desarrollo por Distritos en Chumbivilcas*.
- LUQUE, A. (2016). *Propuesta Técnica de la Construcción de una Mini Presa con Fines de mitigar la escasez de agua en la comunidad de Cachipascana, del distrito de San Antonio de Esquilache, Puno [Para optar al título de ingeniero civil]*. Puno, Perú.
- Martínez, E, Batanero, P. Martínez, I. Martínez E., & González, E. (1970). *Bureau Of Reclamation Diseño de Presas Pequeñas* (1 ed.). (Bellisco, Ed.) Madrid, España.

- Matchworks. (2022). *Distribución Lognormal*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/help/stats/lognormal-distribution.html>
- MEJÍA, A. (2006). *Hidrología Aplicada* (1 ed.). Lima, Perú.
- Ministerio de Agricultura y Tierra. (2015). *Inventario De Presas En El Perú*. Lima, Perú.  
Recuperado el 25 de noviembre de 2022
- Ministerio de Transportes Y Comunicaciones. (2015). *Manual de Hidrología, Hidráulica Y Drenaje*. Lima.
- Morresi, M., & Carrillo, E. (2019). *Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (Idf) de la Estación Meteorológica del Cim-Fich. Serie 1986–2016*. Santa Fe, Argentina.
- Norma Técnica E.050. (1997). *Suelos y Cimentaciones*. Reglamento Nacional De Construcciones, Lima.
- Núñez, T. (17 de diciembre de 2020). *Levantamiento Topográfico*.
- Pomonti, L. (2013). *Hietograma e Hidrograma*. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Puerto la Cruz, Venezuela.
- Porto, J. Merino, M. (2018). *Geomorfología*. Obtenido de <https://definicion.de/geomorfologia/>
- Ramírez, M., Ghanem, A., & Lárez, H. (2006). *Estudio Comparativo de los diferentes métodos utilizados para La Predicción De Intensidades Máximas de precipitación para el Diseño Adecuado de Estructuras Hidráulicas*. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. Recuperado el 10 de agosto de 2022.
- Resolución Ministerial 173-2018. (2018). *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*. Lima, Perú.
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (s.f.). *Caudal Máximo y Periodo de Retorno*.

Soluciones Ambientales. (2017). *¿Qué son los Geosintéticos?* Obtenido de <https://www.geosai.com/geosinteticos/>

Superprof. (marzo De 2022). *Histograma*. Obtenido de <https://www.superprof.es/apuntes/escolar/matematicas/estadistica/descriptiva/histograma.html>

Villón, M. (2002). *Hidrología* (1 ed.). (T. d. Rica, Ed.) San José, Costa Rica. Recuperado el 11 de agosto de 2022, de <https://www.ingcivilfree.xyz/2021/07/hidrologia-maximo-villon-bejar.html>



## ANEXOS

### Certificado de originalidad del proyecto

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div><b>Municipalidad Provincial de Chumbivilcas</b><br/><b>Santo Tomás</b><br/>Creación Política 21 de Junio de 1825</div> <div></div> |  |
| <p align="center"><b>"PERÚ SUYUQ ISKAY PACHAK WATA HUNT' AYNIN: QISPISQAN ISKAY PACHAK WATA"</b><br/><b>"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <p align="right">Santo Tomas, 16 de junio del 2021</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <p><b><u>CARTA N° 017-2021-SG-MPCH.</u></b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <p><b>SEÑOR.</b><br/><b>RODRIGO GOMEZ AZCUE.</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <p><b><u>PRESENTE. -</u></b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <b>ASUNTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | :                                                                                                                                                                                                                         | <b>REMITE INFORMACION SOLICITADA.</b>                                               |
| <b>REF</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | :                                                                                                                                                                                                                         | <b>SOLICITUD S/N. (EXP. 6483).</b>                                                  |
| <p>Es grato dirigirme a Ud., en mi condición de responsable de brindar informacion a los ciudadanos que soliciten, en virtud de lo establecido en el TUO de la Ley N°27806 Ley de Transparencia y acceso a la informacion; el motivo de la presente es poner en conocimiento el Informe N°130-2021-UF/MPCH/RMCH, de fecha 14 de junio de 2021, el Jefe de la Oficina de Unidad Formuladora de la Municipalidad Provincial de Chumbivilcas, remite informacion solicitada, en atención a la solicitud S/N de fecha 07 de Junio del 2021.</p> |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <p><b><u>Adjunto:</u></b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <p>- Informe N°130-2021-UF/MPCH/RMCH.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <p align="center">Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresar los sentimientos de mi especial consideración y estima.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <p align="center">Atentamente,</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| <br><br><b>Celia Yanett Yana</b><br><b>ABOGADO</b><br><b>ICAC. 6360</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                       |                                                                                     |



**MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHUMBIVILCAS**  
OFICINA DE UNIDAD FORMULADORA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

**invierte.pe**

"Año del bicentenario del Perú: 200 Años de independencia"

**INFORME N° 130-2021-UF-MPCH/RMCH**

**A** : ABG. CELIA YANETT YANA CAMASITA  
Secretaria General de la MPCH.

**DE** : ECON. ROGER MENDOZA CHURATA  
Jefe de la Oficina de Unidad Formuladora- MP Chumbivilcas.

**ASUNTO** : RESPUESTA A LA INFORMACIÓN SOLICITADA .

**REFERENCIA** : SOLICITUD CON REGISTRO DE EXP. 3543

**FECHA** : Santo Tomas 14 de Junio del Año 2021.

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHUMBIVILCAS |           |
| SECRETARIA GENERAL                       |           |
| <b>RECIBIDO</b>                          |           |
| FECHA: 14-06-2021                        |           |
| Exp: 272                                 | FOLIO: 03 |
| HORA: 11:06 am                           |           |
| PROMESA                                  |           |

Tengo el agrado de saludarle a nombre de la Oficina de Unidad Formuladora de Proyectos de la Municipalidad Provincial de Chumbivilcas. Y en atención a la solicitud con registro de EXP. 3543. Donde solicita la emisión de certificado de originalidad para el tema de investigación de denominado "REPRESAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES EN LA CUENCA DE QUEUÑAMAYO PARA USO AGRÍCOLA Y CONSUMO HUMANO DEL DISTRITO DE SANTO TOMAS EN LA PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS EN EL DEPARTAMENTO DE CUSCO". Para tal efecto informo lo siguiente.

Verificada en el aplicativo de banco de inversiones. **NO SE IDENTIFICÓ NINGÚN ESTUDIO DE INVERSIÓN CON LA DENOMINACIÓN EN MENCIÓN, EN LA FASES DE FORMULACIÓN, EVALUACIÓN Y EJECUCIÓN.**

En tal sentido comunico **que a la fecha** dicha iniciativa de inversión se encuentra a nivel de idea de inversión por parte de la municipalidad provincial de Chumbivilcas.

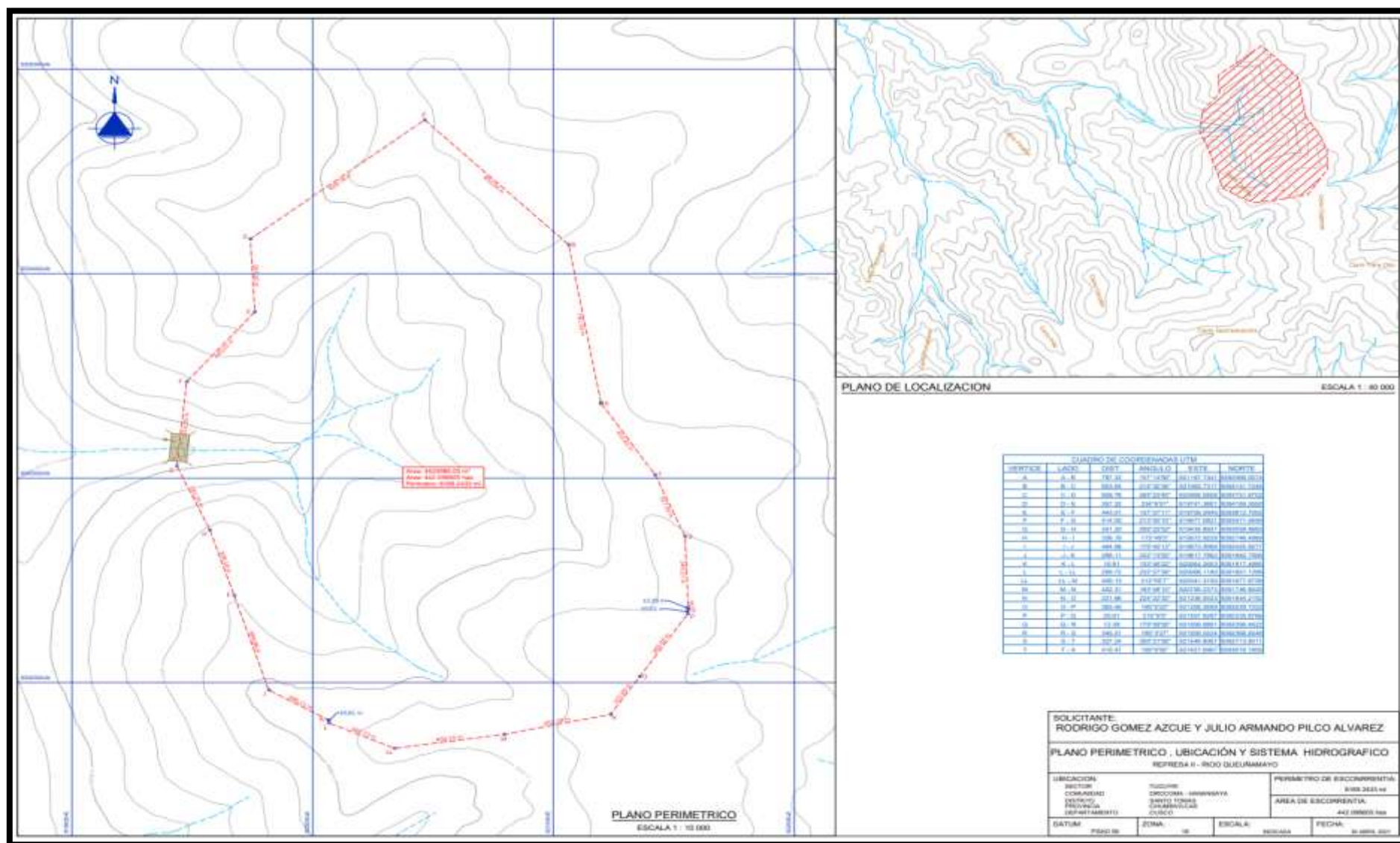
Es cuanto informo a usted para su conocimiento y fines correspondientes

Atentamente,

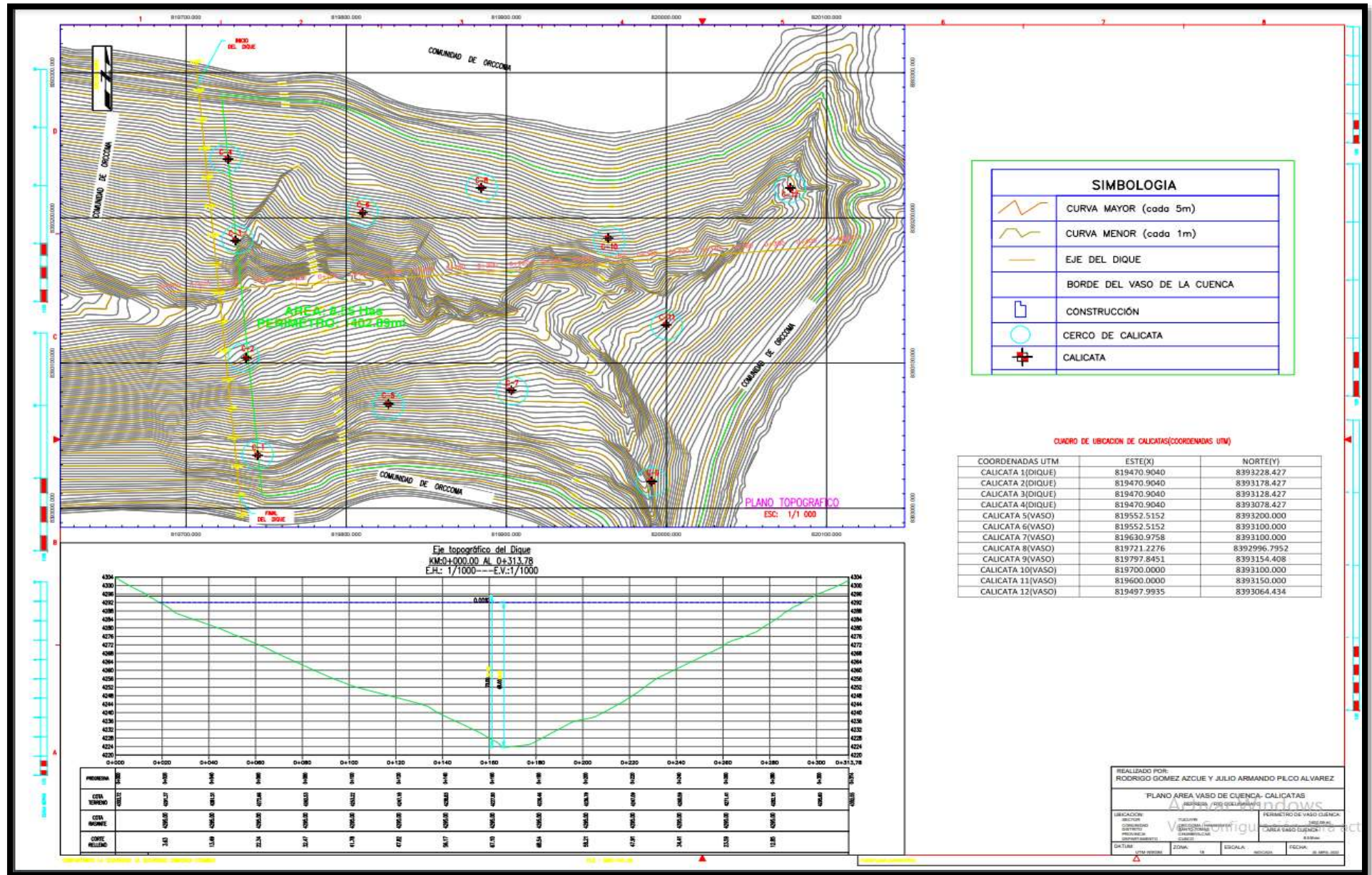
  
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHUMBIVILCAS  
ECON. ROGER MENDOZA CHURATA  
Jefe de la Oficina de Unidad Formuladora

## Planos

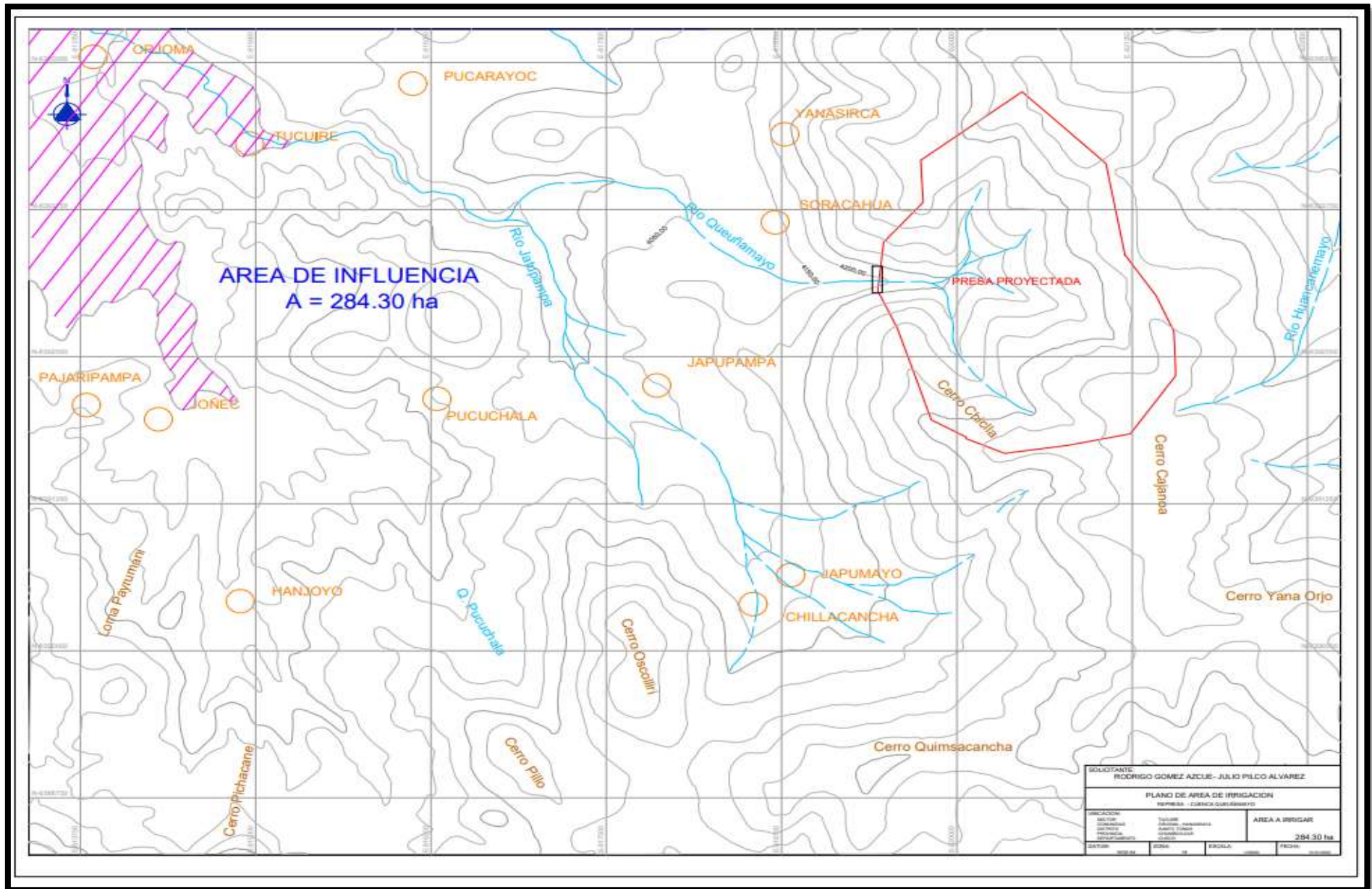
### Plano de ubicación y perimétrico de la cuenca Queñamayo



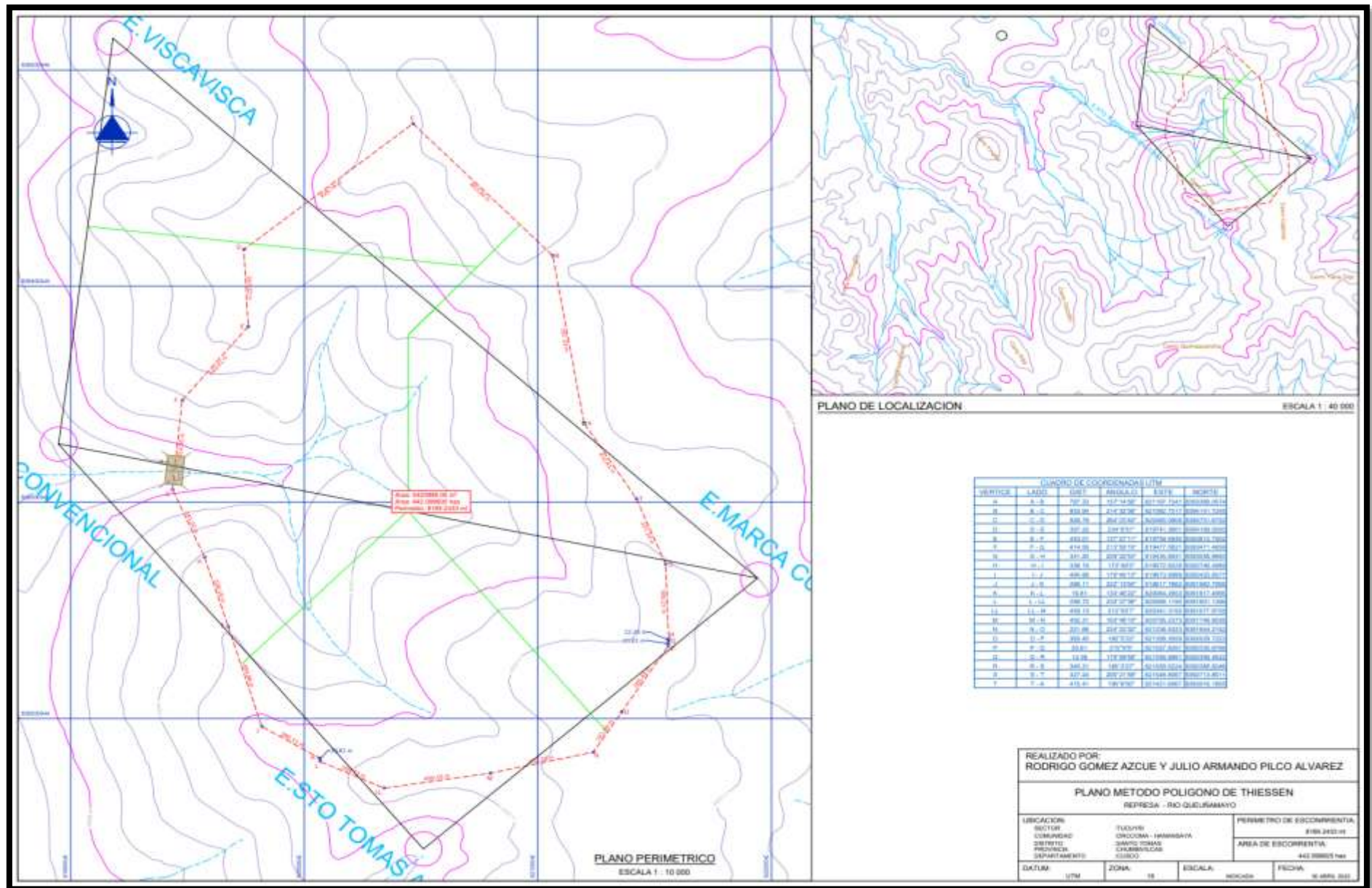
## Plano de ubicación de calicatas y vaso de la cuenca



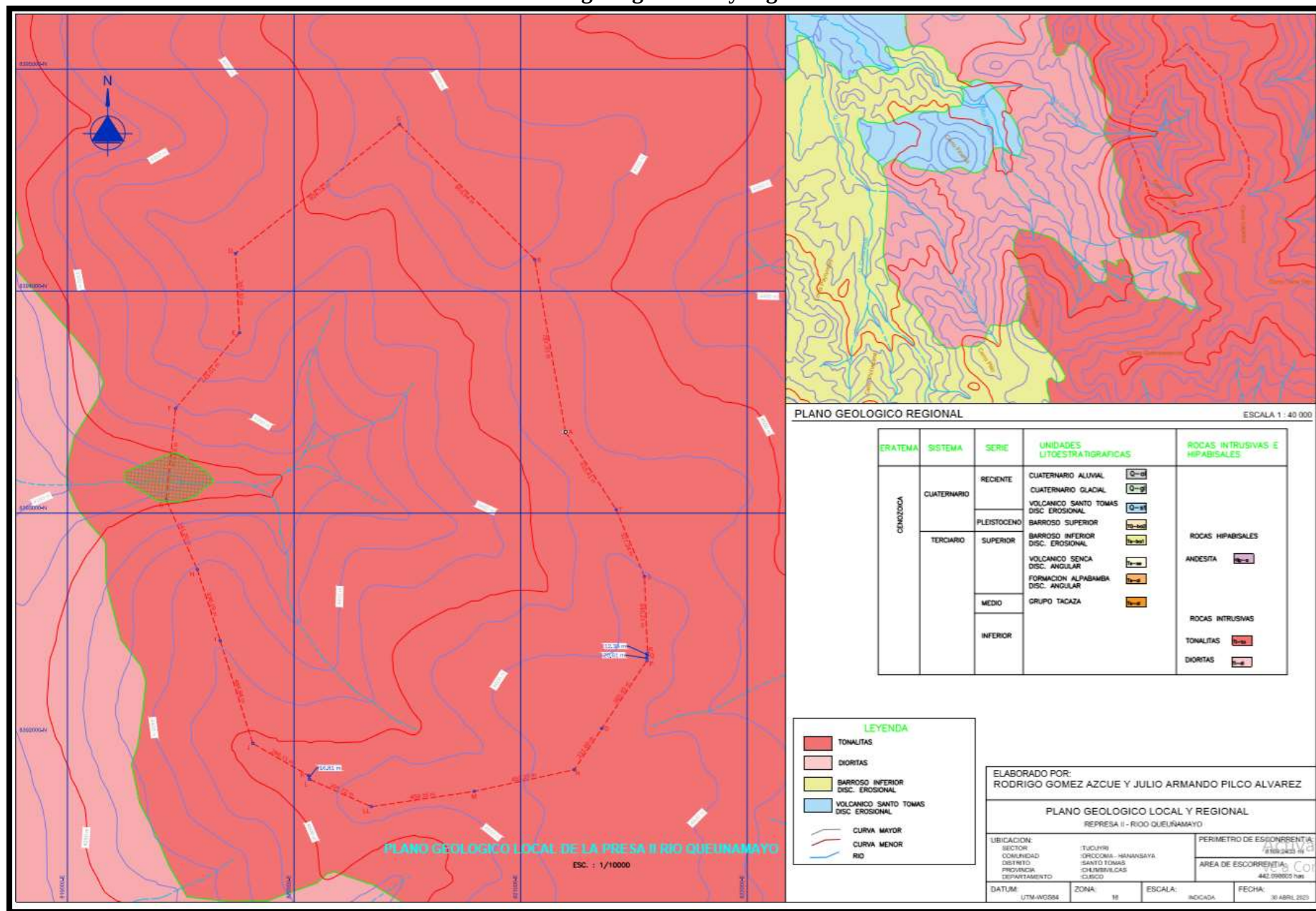
### Plano del área de influencia de riego



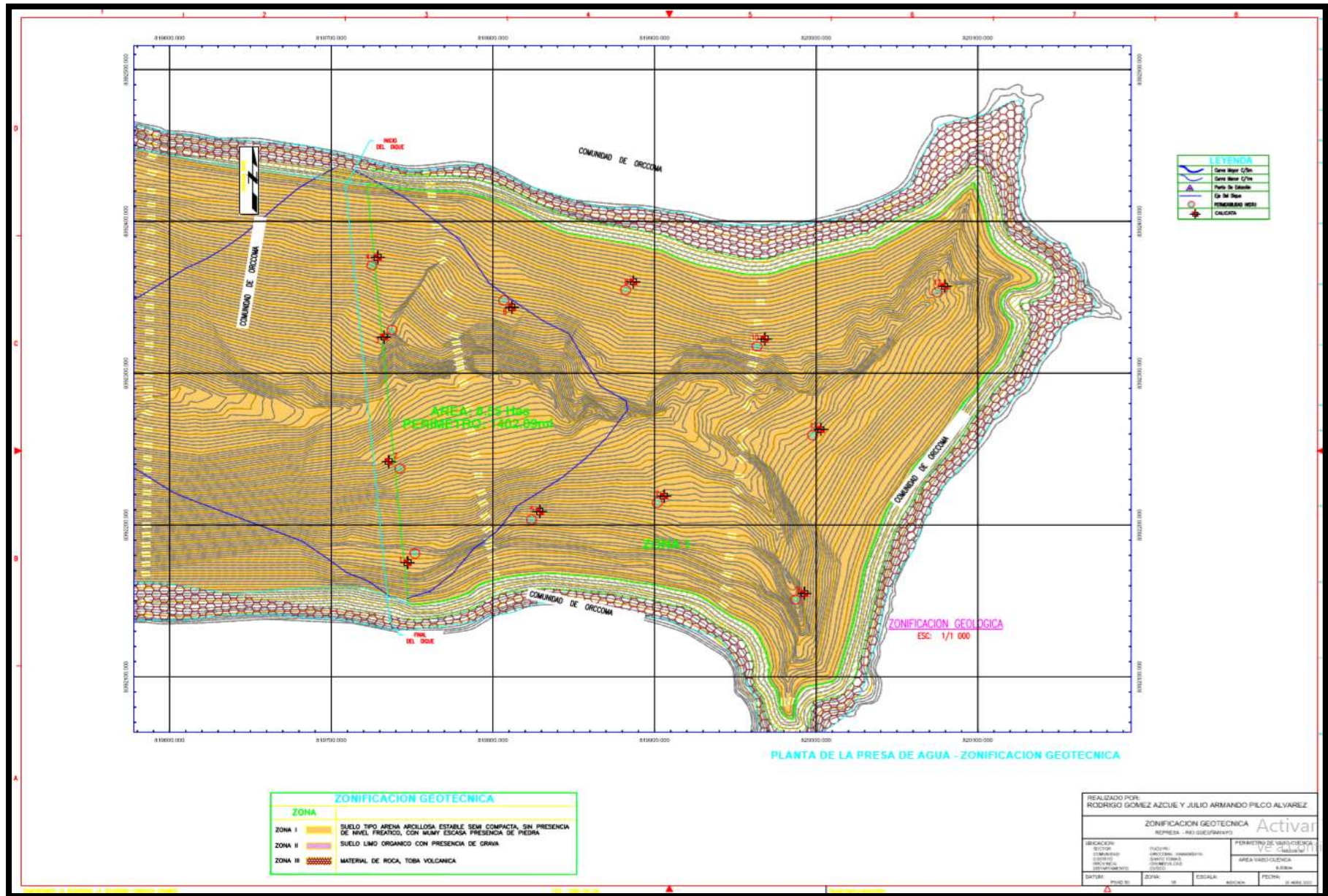
## Plano de elaboración de polígono de Thyssen



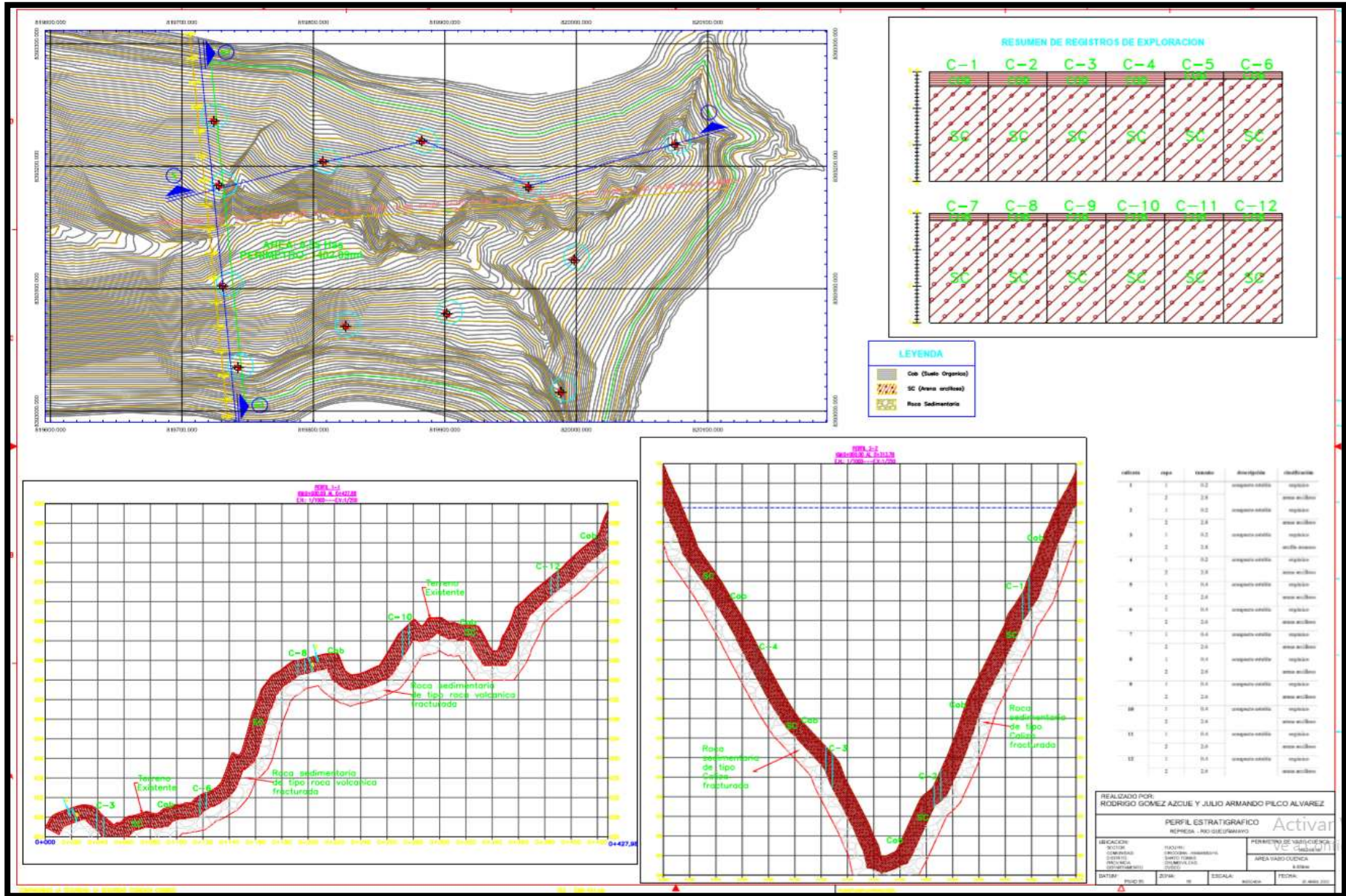
## Plano geológico local y regional



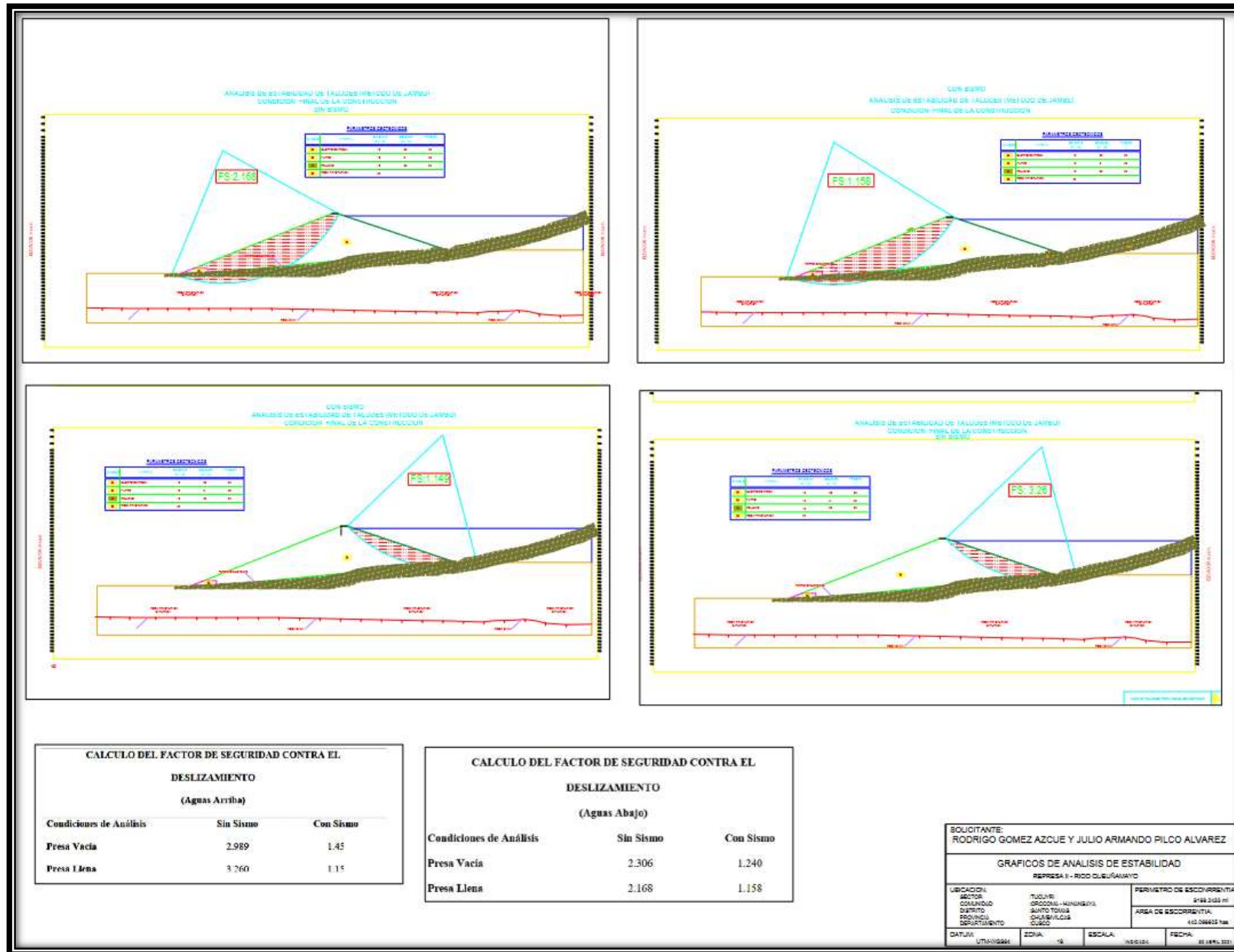
## Plano de zonificación geotécnica



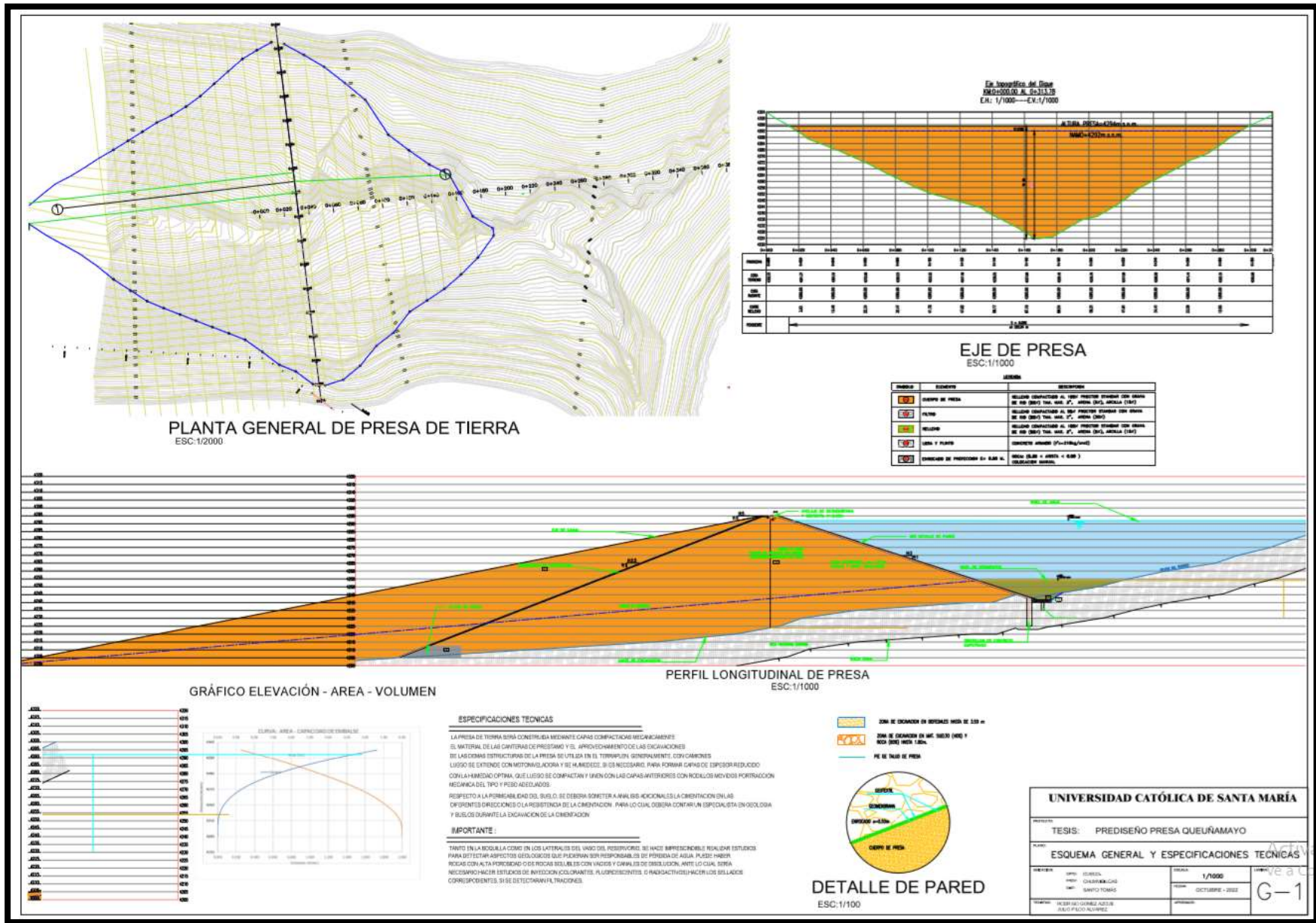
## Plano de perfis estratigráficos



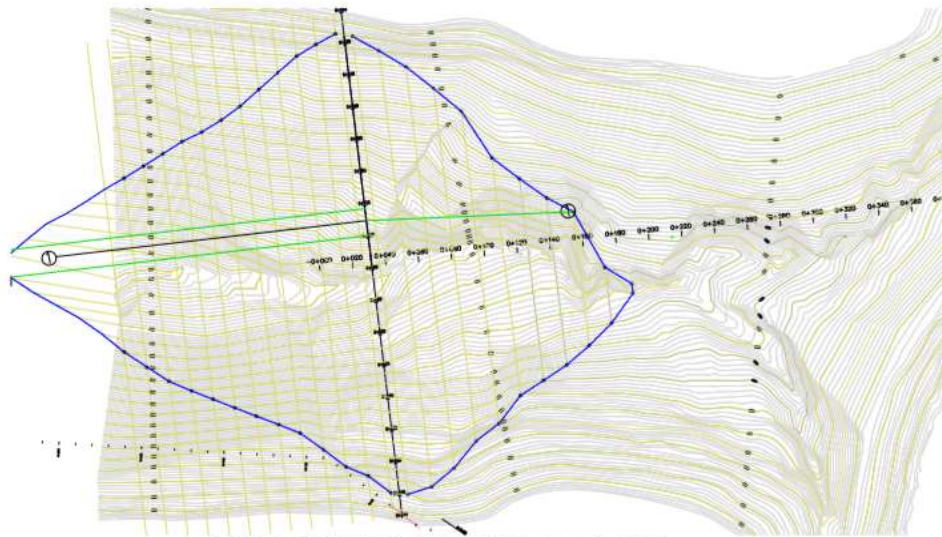
## Plano de estabilidad de taludes-Slide



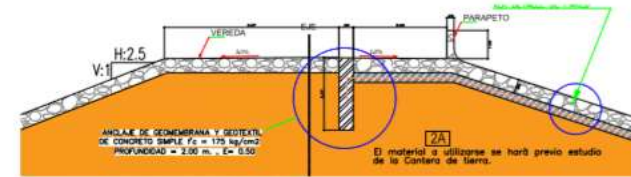
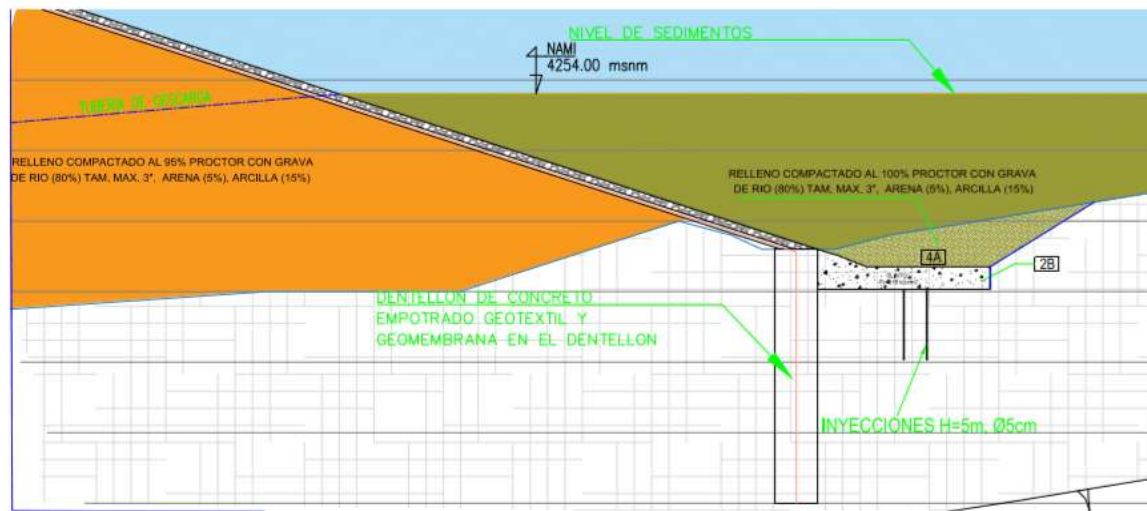
## Plano de esquema general del dique y especificaciones técnicas



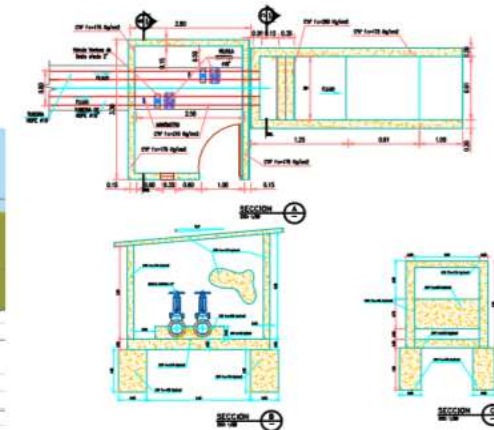
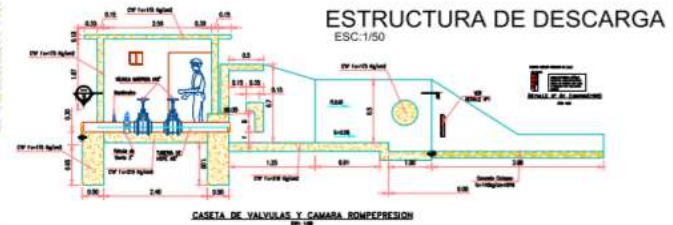
## Plano de esquema general y tubería de descarga



PLANTA GENERAL DE PRESA DE TIERRA  
ESC:1/2000



ESTRUCTURA DE CORONA  
ESC:1/50



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

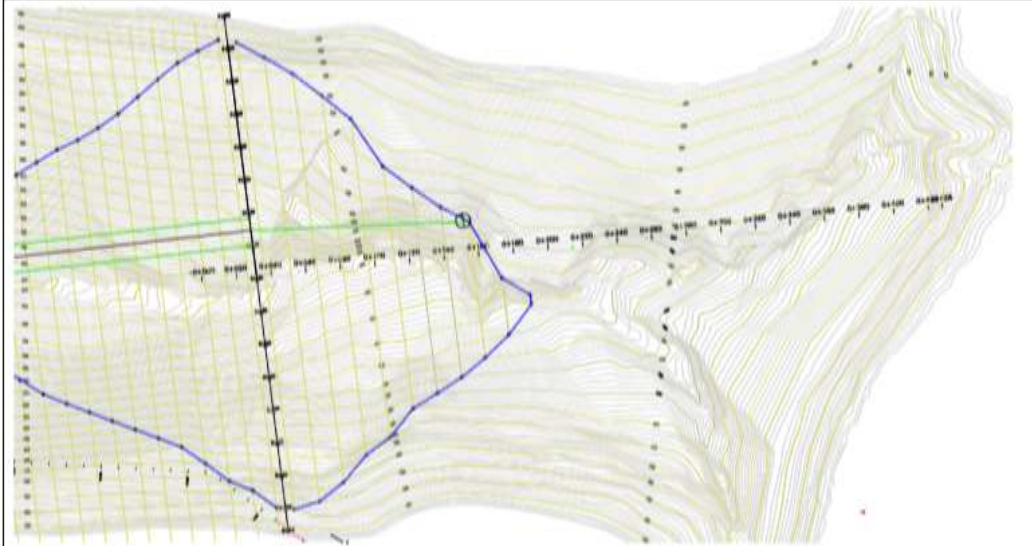
TESIS: PREDISEÑO PRESA QUEUÑAMAYO

ESQUEMA GENERAL Y TUBERÍA DE DESCARGA

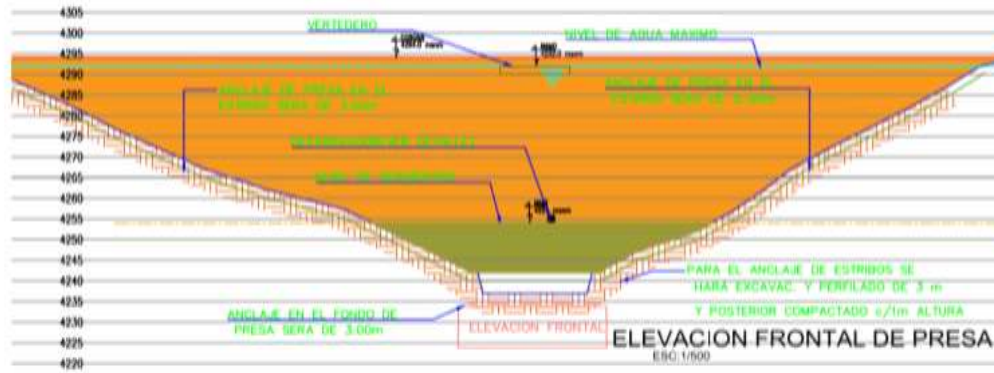
FECHA: 1/1000  
OCTUBRE - 2022

G-2

## Plano de estructuras y detalles complementarios de la presa

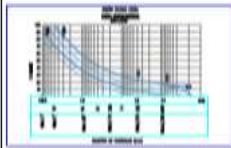


PLANTA GENERAL DE PRESA DE TIERRA  
EBC-1/1280

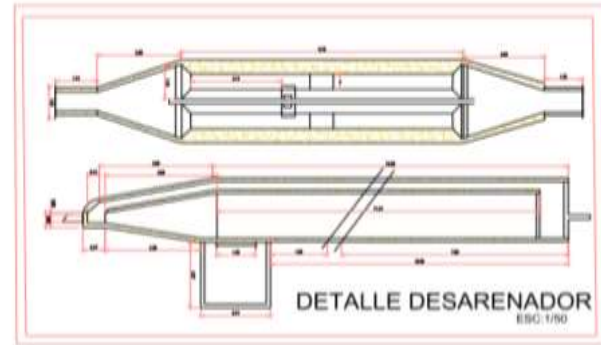
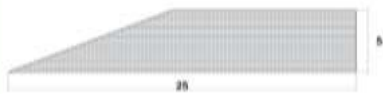


### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA FILTRO

- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA FILTRO**
- La granulometría de los filtros debe ser monitorizada en laboratorio durante su fabricación en campo, asegurando el cumplimiento de la granulometría de diseño.
- El primer control se extiende, desde la compra del material a la entrega de la demanda relativa de 99,5 % obtenida en el laboratorio, teniendo en cuenta su humedad final.
- La inspección y aprobación (resistencia, sellado de la primera capa, se recorta la superficie y se continúa con una segunda capa de filtro No. 2, luego se continúa con la compactación hasta lograr las mismas propiedades de sellado que la capa anterior.
- La inspección se extiende luego por el mismo procedimiento que la capa anterior con un rejilla de filtro No. 1 y debe compactarse hasta que sea aceptada. El filtro de coque

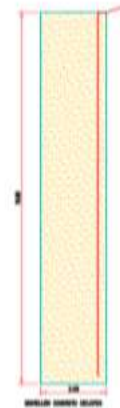


**DIMENSIONES FILTRO**  
ESQ:1/260

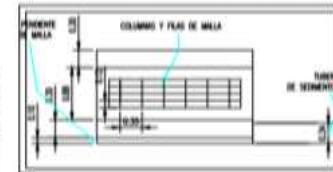


DETALLE DENTELLÓN  
ESC: 1/100

Para el diseño del dentellón se tomaron en cuenta dos factores, primero la estabilidad de los taludes de la presa tanto aguas arriba como aguas abajo siendo el más crítico la cara húmeda de la presa y segundo, el análisis de filtraciones. El diseño del dentellón se realizó tomando en cuenta dos tipos de concreto uno de 210 y otro de 280 kg/cm<sup>2</sup>. Escogiendo el primero (210 kg/cm<sup>2</sup>). Asimismo, las dimensiones fueron obtenidas por prueba y error, considerando al final 18 metros de largo y 3 metros de ancho de forma óptima.



DETALLE SEDIMENTADOR



| 製品仕様表          |         |      |
|----------------|---------|------|
| 製品仕様表          |         |      |
| 製品仕様           | 製品仕様    | 製品仕様 |
| 75 mm (3")     | 100     |      |
| 90 mm (3 1/2") | 70 - 90 |      |
| 125 mm (5")    | 55 - 80 |      |
| 150 mm (6")    | 45 - 70 |      |
| 175 mm (7")    | 35 - 65 |      |
| 200 mm (8")    | 25 - 50 |      |
| 225 mm (9")    | 15 - 30 |      |
| 250 mm (10")   | 5 - 20  |      |
| 275 mm (11")   | 5 - 20  |      |

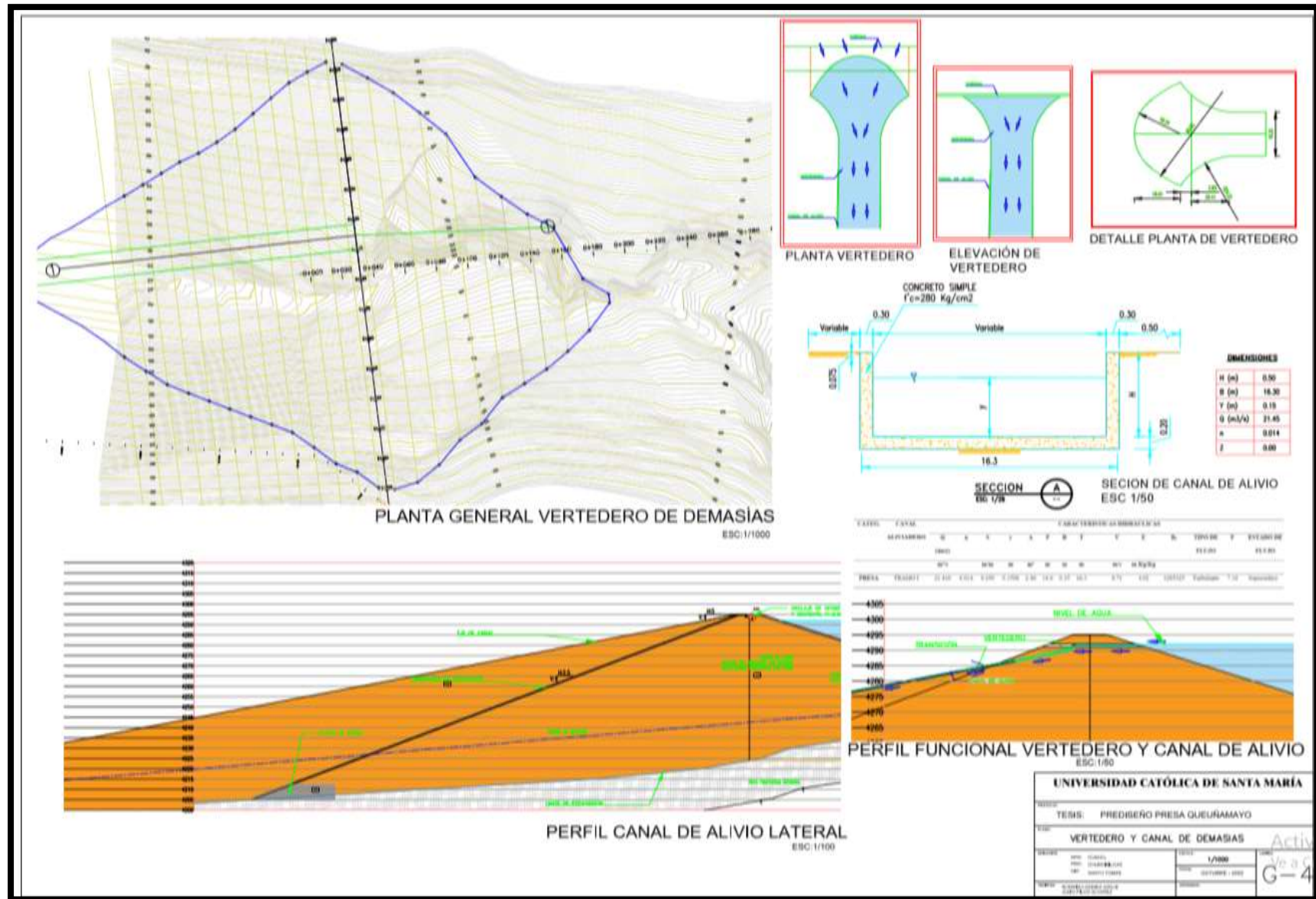
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TESIS: PREDISEÑO PRESA QUEUÑAMAYO

DETALLES Y ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS DE LA PRESA

|                                                    |                                                           |                                                    |                                                       |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1. <u>NAME</u><br>2. <u>DATE</u><br>3. <u>TIME</u> | 4. <u>LOCATION</u><br>5. <u>WEATHER</u><br>6. <u>WIND</u> | 7. <u>WIND</u><br>8. <u>WIND</u><br>9. <u>WIND</u> | 10. <u>WIND</u><br>11. <u>WIND</u><br>12. <u>WIND</u> |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|

## Plano de vertedero y canal de demasías



# "PRE-DISEÑO PRESA DE TIERRA- CUENCA QUEUÑAMAYO - DISTRITO DE SANTO TOMÁS - PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS - DEPARTAMENTO DE CUSCO-2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.ana.gob.pe](https://repositorio.ana.gob.pe)

Fuente de Internet

2%

2

[repositorio.unfv.edu.pe](https://repositorio.unfv.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

3

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

1%

4

[livrosdeamor.com.br](https://livrosdeamor.com.br)

Fuente de Internet

1%

5

[www.diresacusco.gob.pe](https://www.diresacusco.gob.pe)

Fuente de Internet

1%

6

[repositorio.espe.edu.ec](https://repositorio.espe.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

7

[vsip.info](https://vsip.info)

Fuente de Internet

1%

8

[pt.scribd.com](https://pt.scribd.com)

Fuente de Internet

1%

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias &lt; 1%

Excluir bibliografía

Apagado