

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE UNA PRESA COMO  
SOLUCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA  
PARROQUIA MANGLARALTO”**

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Presentado por:

**EDUARDO GARRIDO ROJAS**

**BRAULIO WILBER MURILLO VERA**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**Año: 2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente proyecto lo dedico Dios y a mi familia los cuales son un pilar fundamental para mí, a mis padres el Sr. Juan Garrido y la Sra. Lida Rojas que sin ellos no hubiese llegado hasta donde estoy, por ser mi apoyo día a día a pesar de las circunstancias. A mi hermano el Sr. Juan Carlos Garrido que con sus consejos me ayudo a seguir a pesar de los momentos difíciles, a mi sobrino Diego de quien espero un buen futuro.

*Eduardo Garrido Rojas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedico este proyecto principalmente a Dios, a mis padres el Suboficial. Pedro Murillo y la Sra. Felicita Vera que siempre estuvieron pendiente de mí durante toda mi carrera, a mi Tía la Sra. Petita Murillo mi segunda madre que siempre oraba por mí para que Dios guie mi camino, a mi hermano Pedro Israel que siempre creyó en mí, a mi futura esposa la Lcda. Ivette Espinoza que estuvo siempre allí ayudándome en momentos difíciles de mi carrera, al Ing. Carlos Espinoza por sus consejos de fuerza y motivación, a todas aquellas personas que creyeron en mí.

*Braulio Murillo Vera.*

# TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

---

Miguel Chávez, Ph. D.

---

Alby Aguilar, M. Sc.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo que desarrollo el proyecto y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

---

Eduardo Garrido R.

---

Braulio Murillo V.

## RESUMEN

De acuerdo a investigaciones, estudios y búsqueda de alternativas del Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a Ciencias de la Tierra (CIPAT-ESPOL) para la gestión de recursos hídricos realizados en la parroquia Manglaralto, se ha planteado el presente análisis que determina la pre factibilidad de una Presa de embalse para el aprovechamiento del líquido vital para los habitantes de dicha parroquia.

Para analizar este plan de abastecimiento de agua se debe contar con estudios previos que se encargarán de darle forma al pre diseño; sin embargo cabe recalcar que los estudios realizados en este proyecto son de carácter preliminar como por ejemplo la topografía que se debe realizar con software de poca precisión pero de mucha utilidad para efectos de pre diseño.

## ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| RESUMEN.....   | I    |
| ÍNDICE GENERAL.....  | II   |
| ABREVIATURAS.....  | IV   |
| SIMBOLOGÍA.....  | V    |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                     | VI   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                      | VIII |
| <br>   |      |
| CAPÍTULO 1   |      |
| 1.INTRODUCCIÓN.....  | 1    |
| 1.1 Descripción del problema.....                          | 1    |
| 1.2 Objetivos.....   | 2    |
| 1.2.1 Objetivo General.....                                | 2    |
| 1.2.2 Objetivos Específicos.....                           | 2    |
| 1.3. Marco teórico.....                                    | 3    |
| 1.3.1 El agua en el planeta.....                           | 3    |
| 1.3.2 Crisis del agua.....                                 | 4    |
| 1.3.3 Ley orgánica de agua en el Ecuador .....             | 5    |
| 1.3.4 Ubicación de la cuenca del rio Manglaralto.....      | 6    |
| 1.3.5 Datos socioeconómico.....                            | 7    |
| 1.3.6 Datos estadísticos.....                              | 9    |
| <br>   |      |
| CAPÍTULO 2   |      |
| 2. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....                              | 11   |
| 2.1 Estudios previos para el pre diseño de la presa.....   | 11   |
| 2.1.1 Topografía.....                                      | 11   |
| 2.1.2 Hidrología.....                                      | 14   |
| 2.1.3 Geología y Geotecnia.....                            | 16   |
| 2.1.4 Impacto ambiental.....                               | 18   |
| 2.2 Estudio hidrológico.....                               | 19   |
| 2.2.1 Ciclo hidrológico.....                               | 19   |
| 2.2.2 Cuenca hidrográfica.....                             | 21   |
| 2.2.3 Precipitación.....                                   | 22   |
| 2.2.4 Análisis de intensidades.....                        | 23   |
| 2.2.5 Hietogramas.....                                     | 28   |
| 2.2.6 Tiempo de concentración.....                         | 34   |
| 2.2.7 Hidrograma de diseño.....                            | 36   |
| 2.2.8 Comparación de caudales máximos.....                 | 47   |
| 2.3 Estudios geotécnicos para la presa en Manglaralto..... | 48   |
| 2.3.1 Tipos de suelos.....                                 | 49   |
| 2.3.2 Muestreo en suelos.....                              | 51   |
| 2.3.3 Toma de muestra de suelo IN SITU.....                | 52   |

|   |     |
|---|-----|
| 2.3.4 Análisis de los ensayos en el laboratorio.....  | 59  |
| 2.3.5 Ensayos del suelo a utilizar en el pre diseño de la presa.....                                      | 61  |
| 2.3.6 Granulometría.....  | 62  |
| 2.3.7 Límites de consistencia o de Atterberg.....   | 68  |
| 2.3.8 Compactación.....   | 77  |
| 2.3.9 Prueba de permeabilidad.....  | 83  |
| 2.3.10 Pruebas de compresión triaxial.....  | 89  |
| 2.3.11 Resultados obtenidos de los ensayos.....   | 99  |
| 2.4 Estudio de impacto ambiental.....   | 100 |
| 2.4.1 Descripción de actividades para la construcción y del mantenimiento y<br>operación de la presa..... | 100 |
| 2.4.2 Valorización de impacto ambiental.....  | 101 |
| 2.4.3 Plan de manejo ambiental en el embalse.....   | 115 |

### CAPÍTULO 3

|  |     |
|--|-----|
| 3. RESULTADOS.....   | 116 |
| 3.1 Pre-diseño de la presa y canal de descarga en Manglaralto..... | 116 |
| 3.1.1 Alternativas del pre diseño de presa.....                    | 118 |
| 3.1.2 Ventajas y restricciones de alternativas de diseño.....      | 119 |
| 3.1.3 Elección de alternativas de diseño.....                      | 121 |
| 3.1.4 Pre diseño de la presa homogénea.....                        | 122 |
| 3.1.5 Prediseño de canal de descarga.....                          | 130 |

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 4.1. Conclusiones.....    | 136 |
| 4.2. Recomendaciones..... | 138 |

### BIBLIOGRAFÍA

### APÉNDICES



## ABREVIATURAS

|         |   |
|---------|---|
| ESPOL   | Escuela Superior Politécnica del Litoral.                                       |
| FICT    | Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.                                |
| CIPAT   | Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra.    |
| UNESCO  | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. |
| PEA     | Población Económicamente Activa.  |
| INEC    | Instituto Nacional de Estadística y Censos.                                     |
| UTM     | Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator.                       |
| DWG     | Formato de archivo informático de dibujo computarizado.                         |
| CAD     | Diseño asistido por computador.   |
| INAMHI  | Instituto Nacional de Hidrológica y Meteorología del Ecuador.                   |
| IDTR    | Intensidad Diaria para un Periodo de Retorno dado.                              |
| IDF     | Intensidad, Duración, Frecuencia.   |
| SCS     | Soil Conservation Service.  |
| Pe      | Precipitación efectiva.   |
| SUCS    | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.                                   |
| LL      | Límite líquido.   |
| LP      | Límite plástico.  |
| LC      | Límite de contracción   |
| IN SITU | En el lugar.  |
| FS      | Factor de seguridad.  |

## SIMBOLOGÍA

|                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| \$                  | Dólares                      |
| %                   | Porcentaje                   |
| Kg                  | Kilogramo                    |
| m <sup>3</sup>      | Metros cúbicos               |
| lb                  | Libras                       |
| in <sup>3</sup>     | Pulgadas cúbicas             |
| m                   | Metro                        |
| °K                  | Grados Kelvin                |
| hr                  | Hora                         |
| ft                  | Pie                          |
| °F                  | Grados Fahrenheit            |
| cm <sup>3</sup>     | Centímetros cúbicos          |
| °C                  | Grados Centígrados           |
| mm <sup>3</sup>     | Milímetros cúbicos           |
| seg                 | Segundo                      |
| n                   | Índice de la ley de potencia |
| m <sup>3</sup> /seg | metro cubico por segundo.    |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 1.1.</b> Cuenca del río Manglaralto (Delimitado en el Programa ArcGis)..7   |     |
| <b>Figura 1.2.</b> Gráfico de la Población en Manglaralto.....10  | 10  |
| <b>Figura 2.1.</b> Imagen Satelital de Manglaralto.....11   | 11  |
| <b>Figura 2.2.</b> Imagen de la pantalla de inicio de Global Mapper.....12  | 12  |
| <b>Figura 2.3.</b> Curvas de Nivel generadas en Global Mapper.....13  | 13  |
| <b>Figura 2.4.</b> Curvas de nivel exportadas en AutoCAD.....14   | 14  |
| <b>Figura 2.5.</b> Represa Control de Inundaciones BuluBulu.....15  | 15  |
| <b>Figura 2.6.</b> Representación Topográfica de la Ubicación de la Presa.....19  | 19  |
| <b>Figura 2.7.</b> Ciclo Hidrológico con balance de agua promedio global anual en unidades relativas a un valor de 100 para la tasa de precipitación terrestre.20 | 20  |
| <b>Figura 2.8.</b> Conceptualización del Ciclo Hidrológico.....20   | 20  |
| <b>Figura 2.9.</b> Sub Cuenca de drenaje de la Presa (Programa ArcGis).....21   | 21  |
| <b>Figura 2.10.</b> Polígono de Thiessen.....24   | 24  |
| <b>Figura 2.11.</b> Curva log. IDF para periodos de retorno 5, 10, 25, 50 y 100 años.....26   | 26  |
| <b>Figura 2.12.</b> Curva aritmética IDF para un periodo de retorno de 100 años.....28  | 28  |
| <b>Figura 2.13.</b> Curva logarítmica IDF para un periodo de retorno de 100 años.....28   | 28  |
| <b>Figura 2.14.</b> Hietogramas.....28  | 28  |
| <b>Figura 2.15.</b> Hietograma de Lluvia total.....30   | 30  |
| <b>Figura 2.16.</b> Número de curvas de escorrentía.....32  | 32  |
| <b>Figura 2.17.</b> Hietograma de precipitación efectiva.....33   | 33  |
| <b>Figura 2.18.</b> Mapa de isócronas.....37  | 37  |
| <b>Figura 2.19.</b> Curva Caudal vs Tiempo (C.O. CLARK).....40  | 40  |
| <b>Figura 2.20.</b> Hidrograma Unitario Triangular.....44   | 44  |
| <b>Figura 2.21.</b> Hidrograma Unitario método SCS.....47   | 47  |
| <b>Figura 2.22.</b> Curva Caudal vs Tiempo (SCS).....47   | 47  |
| <b>Figura 2.23.</b> Sistema USCS de Clasificación de suelo.....52   | 52  |
| <b>Figura 2.24.</b> Método de la calicata.....54  | 54  |
| <b>Figura 2.25.</b> Barrena Hueca.....55  | 55  |
| <b>Figura 2.26.</b> Barrena Helicoidal.....56   | 56  |
| <b>Figura 2.27.</b> Método del tubo de paredes delgadas.....58  | 58  |
| <b>Figura 2.28.</b> Muestra de suelo representativo de las calicatas.....59   | 59  |
| <b>Figura 2.29.</b> Repartición de la muestra según el ensayo en el laboratorio...61  | 61  |
| <b>Figura 2.30.</b> Coeficientes de Permeabilidad (E. Casagrande).....85  | 85  |
| <b>Figura 3.1.</b> Presa homogénea.....118  | 118 |
| <b>Figura 3.2.</b> Presa Sonada.....118   | 118 |
| <b>Figura 3.3.</b> Presa de escollera o enrocada.....119  | 119 |
| <b>Figura 3.4.</b> Sección típica talud 1.5 a 1.....123   | 123 |
| <b>Figura 3.5.</b> Sección típica talud 2 a 1.....123   | 123 |
| <b>Figura 3.6.</b> Sección típica talud 2.5 a 1.....124   | 124 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 3.7.</b> Datos del tipo de material de la presa.....   | 125 |
| <b>Figura 3.8.</b> Línea piezométrica por efecto de embalse y fuertes lluvias, talud 1.5 a 1.....                | 125 |
| <b>Figura 3.9.</b> Línea piezométrica por efecto de embalse y fuertes lluvias, talud 2 a 1.....                  | 126 |
| <b>Figura 3.10.</b> Línea piezométrica por efecto de embalse y fuerte lluvia, talud 2.5 a 1.....                 | 126 |
| <b>Figura 3.11.</b> Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño y valor de factor de zona Z (NEC 2011)..... | 126 |
| <b>Figura 3.12.</b> Deslizamiento de material y factor de seguridad crítico del talud 1.5 a 1.....               | 127 |
| <b>Figura 3.13.</b> Deslizamiento del material y Factor de seguridad crítico del talud 2 a 1.....                | 127 |
| <b>Figura 3.14.</b> Deslizamiento del material y Factor de seguridad crítico del talud 2.5 a 1.....              | 128 |
| <b>Figura 3.15.</b> Sección del Pre diseño de Presa homogénea.....   | 128 |
| <b>Figura 3.16.</b> Corredor de la presa (Vista 2D).....   | 129 |
| <b>Figura 3.17.</b> Corredor de la presa (Vista 3D).....   | 129 |
| <b>Figura 3.18.</b> Eje de canal de descarga.....  | 131 |
| <b>Figura 3.19.</b> Curva con la cual se obtiene el borde libre.....   | 135 |
| <b>Figura 3.20.</b> Sección del Canal de descarga.....   | 135 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla I.</b> Coordenadas que indican la ubicación de la Cuenca.....                                       | 7   |
| <b>Tabla II.</b> Volumen de agua explotado a través de pozos.....  | 10  |
| <b>Tabla III.</b> Datos generales de la Sub-Cuenca.....  | 22  |
| <b>Tabla IV.</b> Intensidades diarias para diferentes periodos de retorno.....                               | 25  |
| <b>Tabla V.</b> Precipitación para diferentes periodos de retorno.....                                       | 26  |
| <b>Tabla VI.</b> Intensidades de precipitación para un periodo de 100 años.....                              | 27  |
| <b>Tabla VII.</b> Cálculo de lluvia total, utilizando el método del bloque alterno....                       | 29  |
| <b>Tabla VIII.</b> Cálculo del Hietograma de Precipitación Efectiva (Pe).....                                | 33  |
| <b>Tabla IX.</b> Calculo de tiempo de concentración de la cuenca (Tc).....                                   | 35  |
| <b>Tabla X.</b> Cálculo de tiempo de concentración por isocrona (Tc).....                                    | 37  |
| <b>Tabla XI.</b> Porcentaje de áreas entre isócronas.....  | 38  |
| <b>Tabla XII.</b> Datos para cálculo “Hidrograma unitario”, Método C.O.CLARK....                             | 39  |
| <b>Tabla XIII.</b> Cálculo del Hidrograma unitario, Método C.O.CLARK.....                                    | 39  |
| <b>Tabla XIV.</b> Cálculo de creciente de diseño para una frecuencia de 100 años<br>(Método C.O. CLARK)..... | 41  |
| <b>Tabla XV.</b> Resultados del cálculo de caudal pico.....  | 43  |
| <b>Tabla XVI.</b> Datos para graficar el Hidrograma triangular.....  | 44  |
| <b>Tabla XVII.</b> Hidrograma Adimensional y Datos del Hidrograma Unitario.....                              | 45  |
| <b>Tabla XVIII.</b> Datos del Hidrograma Unitario de 12 horas Interpolado.....                               | 45  |
| <b>Tabla XIX.</b> Cálculo de Creciente de Diseño para una Frecuencia de 100 años<br>(Método SCS).....        | 46  |
| <b>Tabla XX.</b> Comparación de caudales máximos.....  | 48  |
| <b>Tabla XXI.</b> Datos del suelo de Manglaralto.....  | 99  |
| <b>Tabla XXII.</b> Matriz Intensidad para la etapa de construcción.....                                      | 102 |
| <b>Tabla XXIII.</b> Matriz Intensidad para la etapa de operación.....  | 102 |
| <b>Tabla XXIV.</b> Matriz Extensión para la etapa de construcción.....                                       | 103 |
| <b>Tabla XXV.</b> Matriz Extensión para la etapa de operación.....   | 103 |
| <b>Tabla XXVI.</b> Matriz Duración para la etapa de construcción.....  | 104 |
| <b>Tabla XXVII.</b> Matriz Duración para la etapa de operación.....  | 104 |
| <b>Tabla XXVIII.</b> Matriz Signo para la etapa de construcción.....   | 105 |
| <b>Tabla XXIX.</b> Matriz Signo para la etapa de operación.....  | 105 |
| <b>Tabla XXX.</b> Factores de construcción para el cálculo de la matriz<br>magnitud.....                     | 106 |
| <b>Tabla XXXI.</b> Factores de operación para el cálculo de la matriz<br>magnitud.....                       | 106 |
| <b>Tabla XXXII.</b> Matriz Magnitud para la etapa de construcción.....                                       | 107 |
| <b>Tabla XXXIII.</b> Matriz Magnitud para la etapa de operación.....   | 107 |
| <b>Tabla XXXIV.</b> Matriz de Reversibilidad para la etapa de construcción.....                              | 108 |
| <b>Tabla XXXV.</b> Matriz de Reversibilidad para la etapa de operación.....                                  | 109 |
| <b>Tabla XXXVI.</b> Matriz de Riesgo para la etapa de construcción.....                                      | 110 |
| <b>Tabla XXXVII.</b> Matriz de Riesgo para la etapa de operación.....  | 110 |
| <b>Tabla XXXVIII.</b> Factores de construcción para el cálculo de la matriz VIA..                            | 111 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla XXXIX.</b> Factores de operación para el cálculo de la matriz VIA.....        | 111 |
| <b>Tabla XL.</b> Matriz de valor de impacto ambiental para etapa de construcción.....  | 112 |
| <b>Tabla XLI.</b> Matriz de valor de impacto ambiental para la etapa de operación..... | 112 |
| <b>Tabla XLII.</b> Matriz de rango de significancia para la etapa de construcción..... | 113 |
| <b>Tabla XLIII.</b> Matriz de rango de significancia para la etapa de operación...     | 114 |
| <b>Tabla XLIV.</b> Grado de afectación por recurso.....                                | 114 |
| <b>Tabla XLV.</b> Elección de alternativas de pre diseño.....                          | 122 |
| <b>Tabla XLVI.</b> Alineamiento del Eje del Canal de descarga.....                     | 131 |
| <b>Tabla XLVII.</b> Datos de iteración para encontrar el Yn.....                       | 134 |
| <b>Tabla XLVIII.</b> Resultados de Valores permisibles para el Yn Óptimo.....          | 134 |

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema.

La ubicación en la que está asentada la comunidad de Manglaralto es una zona semiárida donde la evapotranspiración es mayor a la precipitación, por ende existe un déficit en la reversa natural de agua.

Para los meses de Septiembre y Octubre del 2015 en esta región de la Provincia de Santa Elena, se evidencio una fuerte sequía siendo el año con más ausencia de lluvia y por consiguiente el nivel más bajo en los pozos para la extracción de agua subterránea, siendo afectada una gran cantidad de personas. La solución temporal para el problema de la sequía fue racionar el agua entregando el líquido vital pasando un día. Políticamente la Junta inicio sin mucho auspicio del Gobierno de turno, más bien por la necesidad de las poblaciones y es autofinanciado por los servicios que brinda. Cuentan hoy con 11 pozos, y cada pozo genera una planilla de luz eléctrica por extracción con las bombas de alrededor 500\$ a 600\$ mensuales.

La Junta de Agua Potable de la zona ha intentado resolver el problema de la falta de agua mediante la captación directa del río Manglaralto, ubicando en su cauce principal albarradas y diques pero sin mucho éxito debido a la crecida del río en época invernal. Técnicamente se propone construir una presa como solución definitiva, para ello se requiere de un análisis de pre factibilidad para su pre diseño.

### **1.2Objetivos.**

Para llevar a realizar el proyecto establecido, se deben establecer varios objetivos a cumplir con la finalidad de poder cubrir todos los puntos que se deben considerar para la solución al planteamiento del problema:

#### 1.2.1 Objetivo General.

Determinar la pre-factibilidad de una presa a través de un análisis técnico como solución para la escasez de agua en las comunas de Manglaralto.

#### 1.2.2 Objetivos Específicos.

- Ubicar la zona idónea para la colocación de la presa.
- Calcular el caudal de diseño de la cuenca del río Manglaralto.
- Estudiar las características del suelo existente en la zona para el aprovechamiento como material de la presa.



- Determinar la mejor alternativa del tipo de presa bajo condiciones técnicas.
- Analizar los estudios para el diseño de una presa y canal de descarga.

### **1.3 Marco teórico.**

#### 1.3.1 El agua en el planeta:

A pesar de ser el agua el elemento más abundante en el planeta, solamente el 2,53% del total es agua dulce, mientras el resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmovilizadas en glaciares. El agua dulce disponible se distribuye regionalmente de la siguiente manera para la población mundial : 5% de agua para América del norte con 8% de la población mundial , 26% de agua para América del sur con 6% de la población mundial, 8% de agua para Europa con 13% de la población mundial , 11% de agua para África con 13% de la población mundial, 36% de agua para Asia con 60% de la población mundial y 4% para Oceanía con <1% de la población mundial. La cantidad natural de agua dulce existente en lagos, ríos y acuíferos se agrega los 8.000 almacenados en embalses. Estos recursos son renovables con ciertas excepciones de aguas subterráneas con variación de precipitación regional siendo esta precipitación la principal fuente de recurso hídrico para todos.

Esta precipitación es recogida por las plantas y el suelo, se evapora en la atmosfera mediante la evapotranspiración y corre hasta el mar través de los ríos o hasta los lagos y humedales. El agua de la evapotranspiración mantiene los bosques, las tierras de pastoreo y de cultivo no irrigadas, así como los ecosistemas. El ser humano extrae un 8% del total anual de agua dulce renovable y se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentías accesibles. (UNESCO, WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIVE, 2003)

### 1.3.2 Crisis del agua:

En el planeta existe gran cantidad de recurso de agua dulce, pero de manera desigual, es decir no es uniforme en toda la tierra. La mala gestión de este recurso hace que uno de cada cinco habitantes del planeta no tenga acceso al agua potable y el 40% de la población mundial no disponga de sistemas básicos de saneamiento (Informe de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de Recursos Hídricos) (UNESCO, Desarrollo de Recursos Hidricos). Según el mismo informe, es la gestión política la que regula la distribución del agua, en la cual no solo afecta el acceso al servicio básico como el agua potable, sino además temas como la salud, seguridad alimentaria hasta el desarrollo económico. La calidad del agua sigue disminuyendo alrededor del mundo, donde se puede ver alrededor de varios ecosistemas se van deteriorando,

afectando a la flora y fauna mundial. Lo que subraya el informe es la necesidad de un medio ambiente saludable para el ciclo hidrológico.

Según el informe, son los sistemas de gobierno y administración “los que determinan quién obtiene una determinada clase de agua, cuándo y de qué manera, y deciden quién tiene derecho al acceso al agua y servicios conexos”. Esos sistemas no se limitan únicamente a los “gobiernos” propiamente dichos, sino que incluyen a los poderes públicos locales, al sector privado y a la sociedad civil. Además, abarcan una amplia serie de cuestiones estrechamente relacionadas con el agua, desde la salud y la seguridad alimentaria hasta el desarrollo económico, pasando por la explotación del suelo y la conservación de los ecosistemas naturales de los que dependen nuestros recursos hídricos.

### 1.3.3 Ley orgánica de agua en el Ecuador:

La república del Ecuador cuenta con una nueva ley en lo que respecta al recurso del agua, el cual su nombre es Ley Orgánica de recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua. Se cita algunos artículos que referente a la problemática actual y según lo estipulado en la ley que:

Que, los artículos 12, 313, 318 de la Constitución de la Republica consagran el principio de que el agua es patrimonio nacional estratégico, de uso público,

dominio inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos, reservando para el Estado el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.

Que, el artículo 318 de la Constitución prohíbe toda forma de privatización del agua y determina que la gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria y que el servicio de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias; prescribe además, que el Estado a través de la Autoridad Única del Agua, será responsable directa de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinaran a consumo humano y riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación y que se requerirá autorización estatal para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores públicos, privado y de economía popular y solidaria, de acuerdo con la Ley.

#### 1.3.4 Ubicación de la cuenca del río Manglaralto:

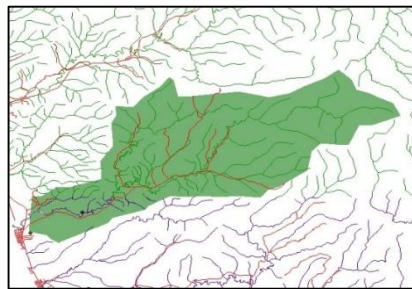
La cuenca del río Manglaralto se encuentra ubicada en la Provincia de Santa Elena, con las siguientes coordenadas:

**Tabla I.** Coordenadas que indican la ubicación de la Cuenca.

|                |             |
|----------------|-------------|
| LONGITUD OESTE | 80° 45' 00" |
| LATITUD SUR    | 01° 51' 00" |
| LONGITUD OESTE | 80° 36' 00" |
| LATITUD SUR    | 01° 47' 00" |

**Fuente:** Autores, 2016.

El río nace en la cordillera Chongón - Colonche a una altura aproximada de 730 m.s.n.m. y desemboca en un pequeño estuario cerca de la Comuna de Manglaralto. Posee un área de 53.15 con un perímetro de 40.2 .



**Figura 1.1.** Cuenca del río Manglaralto (Delimitado en el Programa ArcGis).

**Fuente:** Autores, 2016.

### 1.3.5 Datos socioeconómicos:

La Parroquia Rural de Manglaralto en la provincia de Santa Elena, tiene una extensión 497,4 , con una población según el último censo de población y vivienda del 2010 del INEC de 29.512 habitantes. (Plan de desarrollo y ordenamiento territorial, 2011). La Población Económicamente Activa (PEA) la forma cerca de 10.079 habitantes, en la que más del 42% son relacionados con agricultura y manufactura, además de su principal actividad que es la

pesca y el servicio turístico y comunitario. El Gobierno Autónomo de la parroquia Manglaralto cuenta con seis comunidades a las cuales les proporciona los servicios Básicos las comunidades son las siguientes:

- Manglaralto
- Montañita
- Rio Chico
- Cadeate
- San Antonio
- Libertador Bolívar

La población de Manglaralto pertenece a una junta comunal donde funciona la Junta de agua potable de Manglaralto que brinda servicios de agua a las seis comunidades antes mencionadas.

Esta Junta de agua potable fue creada en los años de 1979-1980 para dar ayuda a la escasez del líquido vital, es una institución comunitaria, la cual se auto sustenta sola, no pertenece al gobierno nacional.

Las poblaciones han ido en crecimiento en los últimos 7 años pasando de 1300 usuarios a 3200, los cuales deben ser atendidos por la Junta dándole el servicio de agua potable el cual lo extraen del acuífero del rio Manglaralto.

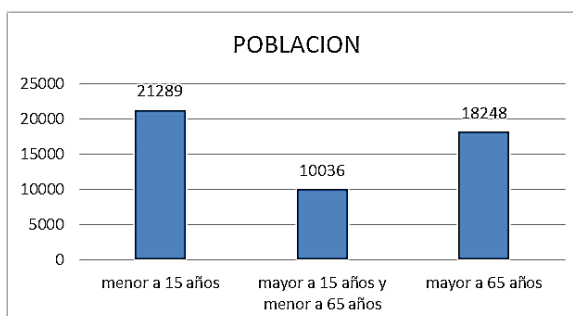
La institución comunitaria fue hecha sin una planificación a futuro de dar servicios a tantas personas, las cuales hoy bordean las 25000 personas en las seis comunidades, las cuales en el caso de Montañita aumenta su población debido a su actividad turísticas, duplicando la cantidad de personas para épocas como Semana Santa, Carnaval y fin de año, la cual no alcanza a abastecerse.

La junta de agua potable brinda el servicio a base de bombas para la extracción de agua subterránea, la cual no pasa por un tratamiento previo al llegar a los hogares, solamente la colocación de cloro en un punto de control antes de la distribución final.

#### 1.3.6 Datos estadísticos:

De acuerdo al censo realizado en el 2010 se obtuvo datos en la parroquia de Manglaralto donde el 83 % de las viviendas que fueron censadas son de tipo casa o villa, lo cual indica una mejora en la calidad de vida. El 76.1% de viviendas son de paredes de ladrillo y bloque, el 80.3% del estado de las paredes son buenas y regulares, el 26.78% aun no poseen un adecuado tipo de piso siendo estos de tierra o de tablas y el 51% carece de instalaciones eléctricas e hidrosanitarias.

La población total de Manglaralto en el censo 2010 registra un 7% menores de 15 años, 60% con edades mayores a 15 años y menores a 65 años y un 33% de personas con edades mayor a 65 años.



**Figura 1.2.** Gráfico de la Población en Manglaralto.  
**Fuente:** INEC Censo, 2010.

El volumen de agua explotado por la Junta de Agua Potable de Manglaralto desde el 2008 al 2012 aumenta considerablemente por el aumento de población, lo cual preocupa a las sus pobladores. Por tal motivo se ha empezado a gestionar ideas técnicas para almacenar el agua de manera eficiente en épocas secas. Los datos mostrados a continuación evidencian el consumo paulatino del agua subterránea.

**Tabla II.** Volumen de agua explotado a través de pozos.

| Año  | Volumen Explotado (m <sup>3</sup> /año) |
|------|---|
| 2008 | 143951                                  |
| 2009 | 216448                                  |
| 2010 | 292910                                  |
| 2011 | 354943                                  |
| 2012 | 422640                                  |
| 2013 | 458852                                  |
| 2014 | 473858                                  |

**Fuente:** CIPAT-ESPOL, 2014.



# CAPÍTULO 2

## 2. Metodología del Diseño

### 2.1 Estudios previos para el pre diseño de la presa.

#### 2.1.1 Topografía.

Etimológicamente la palabra TOPOS en griego, significa lugar y GRAPHEN descripción, así mismo de una forma bastante simple la Topografía significa la descripción de un lugar.

La Topografía tiene por objetivo el estudio de instrumentos y métodos utilizados para obtener una representación gráfica de una porción de terreno sobre una superficie plana” DOUBEK (1989). Para efectos de pre diseño utilizamos el software Global Mapper para determinar las curvas de nivel tomando una imagen de Google Earth de la zona de estudio.



**Figura 2.1.** Imagen Satelital de Manglaralto.  
**Fuente:** Google Earth, 2016.

La cual nos genera una topografía cercana a la realidad con un pequeño margen de error, tanto de planimetría como altimetría que son la base de herramienta para la selección del lugar óptimo de la presa, así como delimitar la cuenca, calcular el caudal de diseño y posteriormente ubicar el eje de la presa en la topografía que se haya generado.

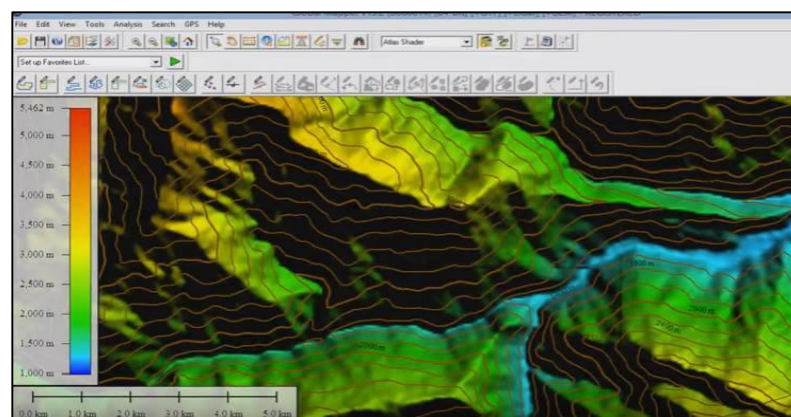
Como primer paso esta entrar en Google Earth y cambiar la pestaña de coordenadas a grados y decimales ya que esto servirá para la generación de los puntos en Global Mapper, luego en el Google Earth se genera un polígono de la zona la cual se está efectuando el estudio y se guarda en formato .kmz y se procede a abrir el software Global Mapper, se cambia las coordenadas a UTM para el correcto funcionamiento del mismo para esto se georreferencia con las coordenadas que se guardó al inicio el polígono en el formato .kmz y se abre la primera pestaña del programa.



**Figura 2.2.** Imagen de la pantalla de inicio de Global Mapper.

**Fuente:** Autores, 2016.

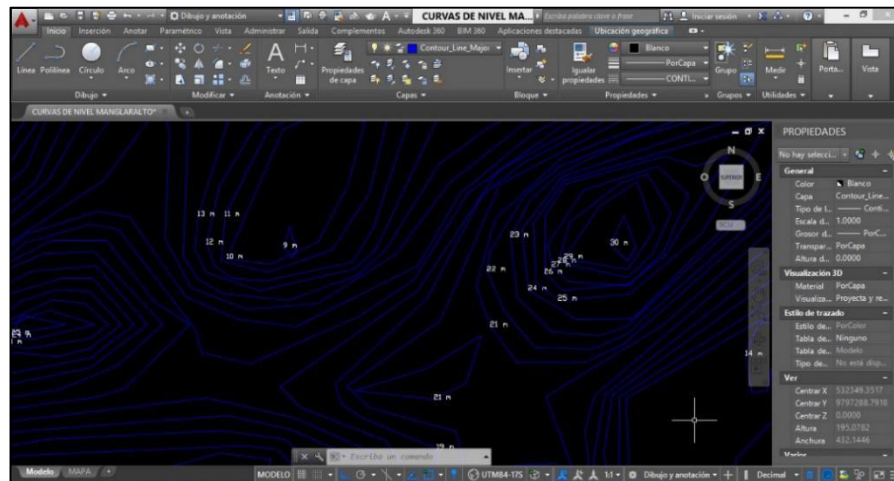
Una vez abierto el archivo se hace doble click en la pestaña Download data online y se genera una pantalla a la cual se da click en Connect y automáticamente se genera las curvas a color, para luego en la pestaña Analysis y se escoge la opción Generate Contours (From Terrain Grid) y se abre la ventana para elegir la separación de las curvas de nivel que necesitemos, por recomendación de los autores se debe escoger un polígono pequeño y una área cercana desde Google Earth para que al momento de escoger la separación de las curvas se pueda elegir una distancia menor y se genere el documento en .dwg con cotas de separación máximas de 1 metro hasta 200 metros. Al final se escoge la opción Contour Interval y la separación de 1 metro para nuestros fines de proyecto.



**Figura 2.3.** Curvas de Nivel generadas en Global Mapper.  
**Fuente:** Autores, 2016.

Posteriormente se va a inicio en File y se abre la pestaña para ubicar la sección Export, se escoge la opción export vector/Lider Format y se escoge el formato

.DWG para ser utilizado en AutoCAD. Quedando el resultado de la siguiente manera:



**Figura 2.4.** Curvas de nivel exportadas en AutoCAD.

**Fuente:** Autores, 2016.

### 2.1.2 Hidrología

La palabra Hidrología se deriva del griego HIDRO que significa AGUA y LOGOS que es DESCRIPCION por lo que la Hidrología es la descripción del agua.

Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. (PROCESOS DEL CICLO HIDROLOGICO D.F. Campos Aranda Universidad San Luis de Potosí 1998)

Por su importancia la hidrología provee conocimiento para tomar buenas decisiones en el manejo de recursos hídricos y es indispensable en obras civiles donde está vinculado el almacenamiento y suministro de agua.

En los últimos años en el Ecuador se han realizado proyectos donde intervienen en gran medida el conocimiento de la hidrología, para mitigar la falta de agua y controlar las inundaciones como por el ejemplo la presa Daule Peripa o la represa de Control de Inundaciones BuluBulu.



**Figura 2.5.** Represa Control de Inundaciones BuluBulu.  
**Fuente:** Secretaría del Agua, 2016.

El estudio hidrológico determina la aportación necesaria de agua para generar el embalse de la presa, de acuerdo a datos probabilísticos de intensidades de lluvias máximas a la cuenca de drenaje aportante, se estima precipitaciones efectivas y avenidas de diseño para diferentes retornos.

### 2.1.3 Geología y Geotecnia

El concepto de Geología proviene de dos vocablos griegos: GEO que significa tierra y LOGOS que es estudio por lo cual la geología se encarga de analizar la forma interna y externa del globo terrestre. De esta manera, la geología se encarga del estudio de las materias que forman el globo y de su mecanismo de formación.

“La Geotecnia es la rama de la Ingeniería que se ocupa del estudio de la interacción de las construcciones con el terreno. Se trata por tanto de una disciplina no solo de la Ingeniería Civil, sino también de otras actividades, como la Arquitectura y la Ingeniería Minera, que guardan relación directa con el terreno.” Universidad de Cantabria España 2012.

Todas las obras deben cimentarse adecuadamente en el terreno, por lo que la forma y transmisión de cargas de la estructura del terreno son fundamentales y debe estudiarse la deformabilidad y resistencia de este.

En obras de tierra el material se utiliza en proyectos como rellenos, terraplenes, presas de materiales sueltos, etc. Dado que la estructura de contención, debe estudiarse la inclinación que debe poseer los taludes de la presa para garantizar su correcta estabilidad.

En base a las investigación Geológicas encontradas que se han realizado en la ESPOL en el proyecto de cartografiado regional en la provincia del Guayas; así como también, se utilizó el trabajo de interpretación de los alumnos que realizaron en estas zonas, la práctica de materia de geología de campo.

En la cuenca del rio Manglaralto está presente las siguientes unidades Litoestratigráficas:

- Formación Cayo: esta formación ocurre en la parte montañosa de la cuenca. Esta constituido de una serie de sedimentos duros y resistentes a la erosión formada por lutitas arcillosas, tobáceas y lutitas silicificadas de color verde oscuro a gris verdusco, frecuentemente de color verde pálido a gris ceniciento.
- Caliza Javita: eoceno medio, se trata de una serie de calizas arrecifales de aproximadamente unos 60 metros de espesor compuestas de cal arenita de color crema
- Grupo Ancón: están constituidas de Gravas de color gris verdoso semidura y cementadas por calcitas.
- Formación Tosagua: se trata de lutitas color chocolate con concreciones calcáreas, bastantes fracturadas.
- Aluvial: está compuesta de una alternancia de limón, gravas o gravillas haciendo más potentes los limos.

#### 2.1.4 Impacto ambiental

El estudio de impacto ambiental permite conocer el impacto significativo y potencial de la modificación del medio ambiente ocasionado por una obra generada por el hombre, así como la forma de atenuarlo o evitarlo (Márquez y Gómez, 1988). Existen muchos métodos para determinar el impacto ambiental generado por un proyecto, la utilizada en este proyecto es de tipo matricial derivada de Leopold con resultados cualitativos. Para determinarla es necesaria la utilización de matrices simples con el objetivo de analizar la causa y efecto de la construcción y operación de la presa.

La matriz de Leopold fue creado en 1971 y se utiliza para identificar el impacto en un proyecto en un entorno natural. El sistema consiste en una matriz de información donde las columnas representan varias actividades que se hacen durante el proyecto y las filas están compuestas por varios factores ambientales. Como primer paso se visualiza las actividades que generaran o llegase a generar los impactos puntuales de dicho proyecto, luego se identifican los factores ambientales que podrán verse afectado y que se clasifican en 3 grandes medios:

- Medio abiótico: constituido por componentes atmosféricos como el aire, agua y suelo.



- Medio biótico: se refiere a la flora y fauna.
- Medio humano: se compone por factores socioeconómicos.

De acuerdo al análisis se encuentran dos zonas elevadas ideal para el anclaje y ubicación de la presa. El nivel donde se forma el embalse es la cota 28 la cual nos muestra la mejor alternativa para el eje principal dejando un borde libre de 2 metros. Se puede apreciar en la Fig. 2.6 la forma del embalse la ubicación nos garantiza un embalse que sustente la disponibilidad de agua en época seca.

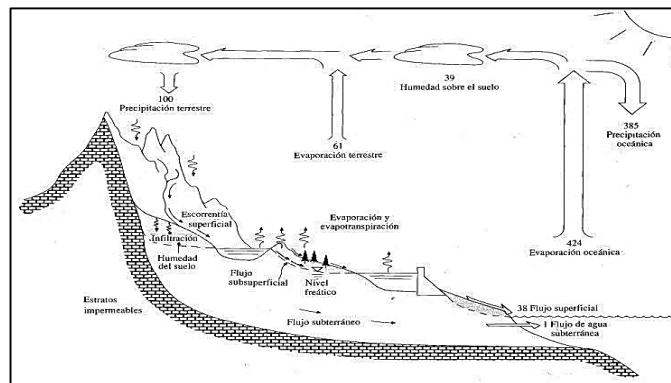


**Figura 2.6.** Representación Topográfica de la Ubicación de la Presa.  
**Fuente:** Autores, 2016.

## 2.2 Estudio hidrológico.

### 2.2.1 Ciclo hidrológico.

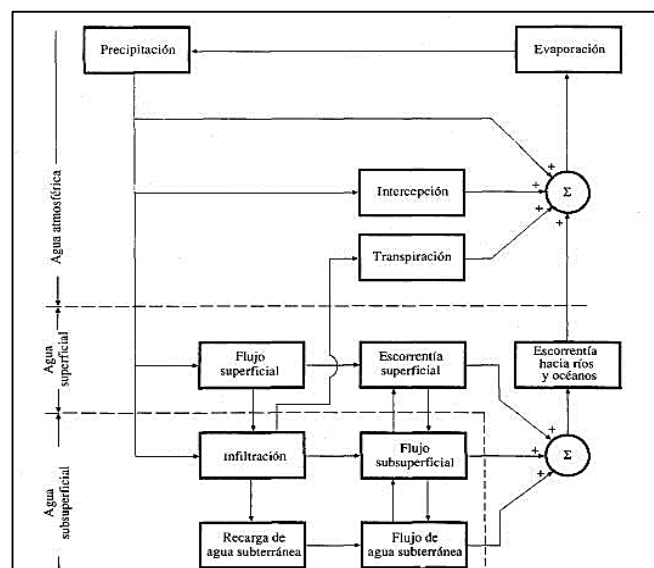
Conjunto de cambios que experimenta el agua en su estado sólido, líquido y gaseoso. El ciclo del agua se compone por la precipitación, evaporación, transpiración, infiltración, escorrentía y flujo subterráneo.



**Figura 2.7.** Ciclo Hidrológico con balance de agua promedio global anual en unidades relativas a un valor de 100 para la tasa de precipitación terrestre.

**Fuente:** Ven Te Chow, 1994.

Los aspectos hidrológicos son muy complejos y es posible que no se comprenda en su totalidad, los componentes del ciclo hidrológico, se pueden analizar separadamente y combinar sus resultados de acuerdo a un balance.



**Figura 2.8.** Conceptualización del Ciclo Hidrológico.

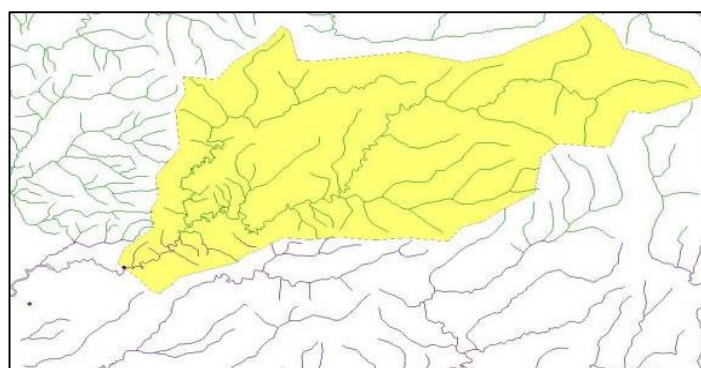
**Fuente:** Ven Te Chow, 1994.

### 2.2.2 Cuenca hidrográfica.

Se denomina una cuenca hidrográfica al área que receipta las aguas provenientes de precipitación y otro tipo de fuente que converge en un punto en común. El estudio de la cuenca se inicia desde su delimitación realizando un trazado divisorio topográfica e hidrográficamente.

Anteriormente se utilizaba el método de las integrales para delimitar una cuenca donde se requería un plano cartográfico con curvas de nivel y escala espacial lo cual tomaba mucho tiempo en su realización.

Ahora se utiliza sistemas de información geográfica que se puede trabajar rápidamente y con mayor exactitud dentro del software ArcGis determinando parámetros fisiográficos.



**Figura 2.9.** Sub Cuenca de drenaje de la Presa (Programa ArcGis).  
**Fuente:** Autores, 2016.

**Tabla III.** Datos generales de la Sub-Cuenca.

| <b>Sub-Cuenca</b>            | <b>Datos</b>          |
|------------------------------|-----------------------|
| Área                         | 47.89 Km <sup>2</sup> |
| Perímetro                    | 35.4 Km               |
| Pendiente                    | 0.05                  |
| Longitud del cauce principal | 21.08 Km              |
| Orden de Corriente           | 3                     |

**Fuente:** Autores, 2016.

### 2.2.3 Precipitación.

El agua procedente de la atmosfera se denomina precipitación, la cual se deposita en forma líquida o sólida en la superficie de la tierra. La precipitación se clasifica de acuerdo a tres criterios, ciclónica, convectiva y orográfica.

La precipitación se forma a través de la condensación del agua en la atmosfera una vez estas gotas o cristales de hielo las cuales según la temperatura aumentan de tamaño hasta que el aire es incapaz de sostenerlos y por ende caen.

La forma de medir la precipitación, es a través aparatos denominados pluviómetros y pluviografos que pertenecen a una estación meteorológica, aunque existen alternativas de mayor precisión como radares, y satélites.

Las estaciones meteorológicas en la zona donde se encuentra la parroquia de Manglaralto son escasas y en las estaciones pluviométricas más cercanas

como Barcelona, El Suspiro, Manglaralto y Guale Ayampe existen datos faltantes en pluviómetros por lo cual se recurre al análisis de intensidades.

#### 2.2.4 Análisis de intensidades.

Los procedimientos estadísticos realizado por técnicos del INAMHI donde se considera información de 65 estaciones pluviográficas y 113 pluviométricas determinan las intensidades máximas en todo el territorio nacional de acuerdo a un mapa de zonificación y a un registro continuo de 24 horas para el periodo de 1964-1968.

##### 2.2.4.1 Intensidad media.

Para el cálculo de intensidad media se aplica el método de Polígonos de Thiessen que sirve para determinar la lluvia media de un sector, en este caso la cuenca del rio Manglaralto; y se aplica cuando se tiene diferentes pluviómetros dentro de la zona de estudio, teniendo además el condicionante que la cuenca es de topografía suave o en lo posible plana.

El procedimiento para el cálculo es el siguiente:

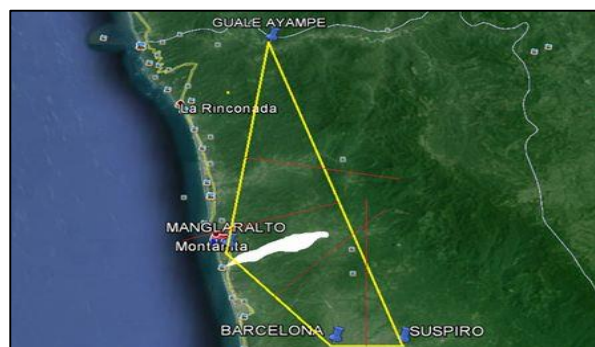
1. Se unen los pluviómetros con líneas rectas.
2. Se trazan mediatrices a las líneas que unen los pluviómetros.

3. Se prolongan las mediatrices hasta el límite de la cuenca.
4. Se calcula el área formada por las mediatrices para cada pluviómetro.

La ecuación para el cálculo de la intensidad media es:

$$\text{intensidad media} = \frac{\sum(\text{intensidad de precipitación} * \text{área})}{\text{área total}}$$

Para la ejecución del método se utilizó estaciones pluviométricas donde se determinó que la estación abarca el área para el cálculo de intensidad media.



**Figura 2.10.** Polígono de Thiessen.  
Fuente: Autores, 2016.

#### 2.2.4.2 Intensidades máximas de la cuenca.

Para el cálculo de intensidades máximas se utilizarán las ecuaciones definidas por el Instituto Nacional de Hidrológica y Meteorología del Ecuador (INAMHI) del año 1999. Estas ecuaciones calculan las intensidades para diferentes periodos de retorno. En la Figura (Mapa de zonificación de Intensidades de

Precipitación en APÉNDICE A) se indican la zonificación realizada por el INAHMI en el año de 1999.

La estación Manglaralto se encuentra ubicada en la zona 8 de acuerdo al mapa de zonificación. En los mapas de Isolneas para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años se determina el IdTR que es la intensidad de precipitación diaria.

**Tabla IV.** Intensidades diarias para diferentes periodos de retorno.

| ZONA 8              |             |                                       |              |              |                        |
|---------------------|-------------|---------------------------------------|--------------|--------------|------------------------|
| 5min<30min          |             | ITR= 80,068*IdTR*t <sup>-0,3683</sup> |              |              | R <sup>2</sup> =0,9896 |
| 30min<1440min       |             | ITR= 351,73*IdTR*t <sup>-0,7977</sup> |              |              | R <sup>2</sup> =0,997  |
|                     |             |                                       |              |              |                        |
| <b>IdTR</b>         | <b>TR=5</b> | <b>TR=10</b>                          | <b>TR=25</b> | <b>TR=50</b> | <b>TR=100</b>          |
| <b>MANGLAR ALTO</b> | 3           | 4                                     | 5            | 6            | 7                      |

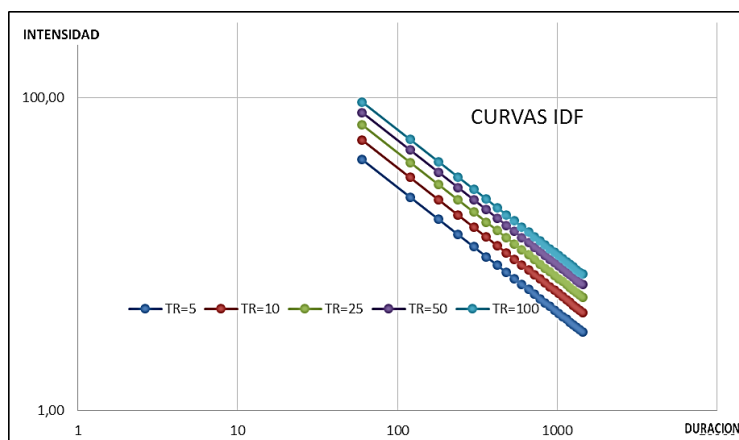
**Fuente:** Autores, 2016.

De esta manera se obtienen los resultados mostradas en la siguiente tabla, en donde se detallan las intensidades de precipitación (ITR) para cada periodo de retorno.

**Tabla V.** Precipitación para diferentes periodos de retorno.

|       | $I_{d_{TR}}$        | TR=5  | TR=10 | TR=25 | TR=50 | TR=100 |
|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|       | <b>MANGLAR ALTO</b> | 3     | 4     | 5     | 6     | 7      |
| horas | <b>t</b> (min)      |       |       |       |       |        |
| 1     | 60                  | 40.26 | 53.68 | 67.10 | 80.52 | 93.95  |
| 2     | 120                 | 23.16 | 30.88 | 38.60 | 46.32 | 54.04  |
| 3     | 180                 | 16.76 | 22.35 | 27.93 | 33.52 | 39.11  |
| 4     | 240                 | 13.32 | 17.77 | 22.21 | 26.65 | 31.09  |
| 5     | 300                 | 11.15 | 14.87 | 18.59 | 22.30 | 26.02  |
| 6     | 360                 | 9.64  | 12.86 | 16.07 | 19.28 | 22.50  |
| 7     | 420                 | 8.53  | 11.37 | 14.21 | 17.05 | 19.89  |
| 8     | 480                 | 7.66  | 10.22 | 12.77 | 15.33 | 17.88  |
| 9     | 540                 | 6.98  | 9.30  | 11.63 | 13.96 | 16.28  |
| 10    | 600                 | 6.42  | 8.55  | 10.69 | 12.83 | 14.97  |
| 11    | 660                 | 5.95  | 7.93  | 9.91  | 11.89 | 13.87  |
| 12    | 720                 | 5.55  | 7.40  | 9.24  | 11.09 | 12.94  |
| 13    | 780                 | 5.20  | 6.94  | 8.67  | 10.41 | 12.14  |
| 14    | 840                 | 4.90  | 6.54  | 8.17  | 9.81  | 11.44  |
| 15    | 900                 | 4.64  | 6.19  | 7.74  | 9.28  | 10.83  |
| 16    | 960                 | 4.41  | 5.88  | 7.35  | 8.82  | 10.29  |
| 17    | 1020                | 4.20  | 5.60  | 7.00  | 8.40  | 9.80   |
| 18    | 1080                | 4.01  | 5.35  | 6.69  | 8.03  | 9.37   |
| 19    | 1140                | 3.84  | 5.13  | 6.41  | 7.69  | 8.97   |
| 20    | 1200                | 3.69  | 4.92  | 6.15  | 7.38  | 8.61   |
| 21    | 1260                | 3.55  | 4.73  | 5.92  | 7.10  | 8.28   |
| 22    | 1320                | 3.42  | 4.56  | 5.70  | 6.84  | 7.98   |
| 23    | 1380                | 3.30  | 4.40  | 5.50  | 6.60  | 7.70   |
| 24    | 1440                | 3.19  | 4.25  | 5.32  | 6.38  | 7.45   |

Fuente: Autores, 2016.



**Figura 2.11.** Curva log. IDF para periodos de retorno 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Fuente: Autores, 2016.



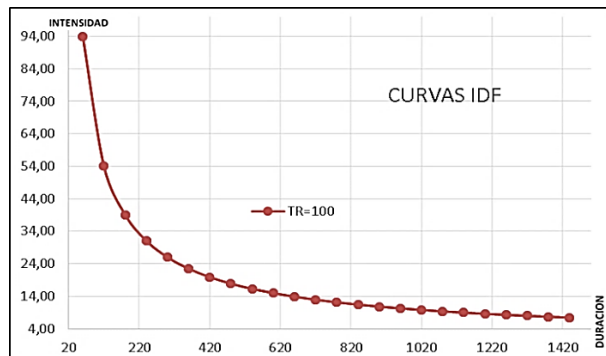
En este caso para realizar el pre-diseño de la presa y determinar nuestro caudal de diseño, se toma en cuenta las intensidades de precipitación para un periodo de retorno de 100 años.

**Tabla VI.** Intensidades de precipitación para un periodo de 100 años.

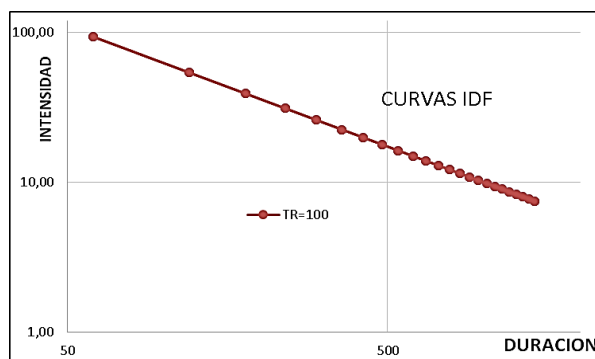
| <b>TR=100</b> |              |                    |
|---------------|--------------|--------------------|
|               | <b>HORAS</b> | <b>MANGLARALTO</b> |
| 60            | 1            | 93,95              |
| 120           | 2            | 54,04              |
| 180           | 3            | 39,11              |
| 240           | 4            | 31,09              |
| 300           | 5            | 26,02              |
| 360           | 6            | 22,5               |
| 420           | 7            | 19,89              |
| 480           | 8            | 17,88              |
| 540           | 9            | 16,28              |
| 600           | 10           | 14,97              |
| 660           | 11           | 13,87              |
| 720           | 12           | 12,94              |
| 780           | 13           | 12,14              |
| 840           | 14           | 11,44              |
| 900           | 15           | 10,83              |
| 960           | 16           | 10,29              |
| 1020          | 17           | 9,8                |
| 1080          | 18           | 9,37               |
| 1140          | 19           | 8,97               |
| 1200          | 20           | 8,61               |
| 1260          | 21           | 8,28               |
| 1320          | 22           | 7,98               |
| 1380          | 23           | 7,7                |
| 1440          | 24           | 7,45               |

**Fuente:** Autores, 2016.

Para el pre diseño normalmente, se debe realizar curvas IDF para un periodo de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años pues para este proyecto se trabajó para un periodo de 100 años y con las intensidades máximas:



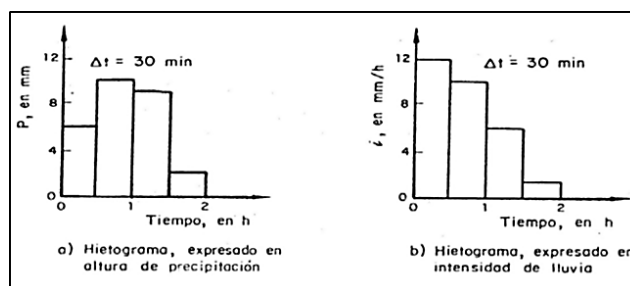
**Figura 2.12.** Curva aritmética IDF para un periodo de retorno de 100 años.  
**Fuente:** Autores, 2016.



**Figura 2.13.** Curva logarítmica IDF para un periodo de retorno de 100 años.  
**Fuente:** Autores, 2016.

### 2.2.5 Hietogramas.

Es un gráfico de barras de forma escalonada que representa la variación de intensidad máxima en cada instante de tiempo, en la duración de una tormenta.



**Figura 2.14.** Hietogramas.  
**Fuente:** CFE, 1980.

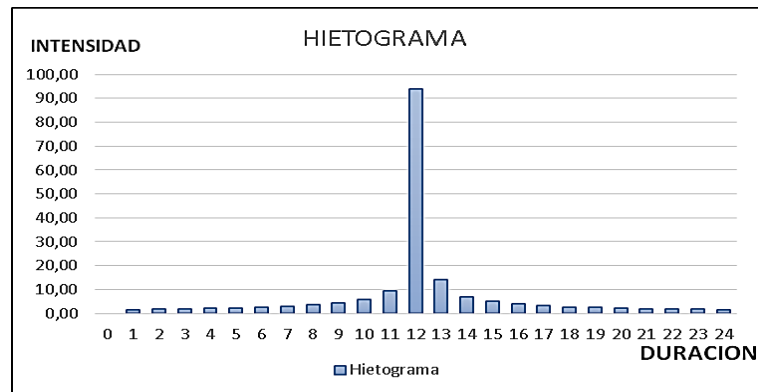
### 2.2.5.1 Hietograma de lluvia total.

Para determinar el hietograma de lluvia total, se aplica el método del bloque alterno que especifica la profundidad de precipitación en intervalos de tiempos sucesivos de duración.

**Tabla VII.** Cálculo de lluvia total, utilizando el método del bloque alterno.

| <b>Duración<br/>(Horas)</b> | <b>Intensidad<br/>(mm/h)</b> | <b>Altura de Precipitación<br/>(mm)</b> | <b>DP<br/>(mm)</b> | <b>Hietograma<br/>(mm)</b> |
|-----------------------------|------------------------------|---|--------------------|----------------------------|
| 0                           | 0                            | 0                                       | 0                  | 0                          |
| 1                           | 93,95                        | 93,95                                   | 93,95              | 1,59                       |
| 2                           | 54,04                        | 108,09                                  | 14,14              | 1,71                       |
| 3                           | 39,11                        | 117,33                                  | 9,24               | 1,85                       |
| 4                           | 31,09                        | 124,36                                  | 7,03               | 2,03                       |
| 5                           | 26,02                        | 130,1                                   | 5,74               | 2,25                       |
| 6                           | 22,5                         | 134,99                                  | 4,89               | 2,54                       |
| 7                           | 19,89                        | 139,26                                  | 4,28               | 2,91                       |
| 8                           | 17,88                        | 143,08                                  | 3,81               | 3,45                       |
| 9                           | 16,28                        | 146,53                                  | 3,45               | 4,28                       |
| 10                          | 14,97                        | 149,68                                  | 3,16               | 5,74                       |
| 11                          | 13,87                        | 152,6                                   | 2,91               | 9,24                       |
| 12                          | 12,94                        | 155,31                                  | 2,71               | 93,95                      |
| 13                          | 12,14                        | 157,84                                  | 2,54               | 14,14                      |
| 14                          | 11,44                        | 160,23                                  | 2,38               | 7,03                       |
| 15                          | 10,83                        | 162,48                                  | 2,25               | 4,89                       |
| 16                          | 10,29                        | 164,62                                  | 2,14               | 3,81                       |
| 17                          | 9,8                          | 166,65                                  | 2,03               | 3,16                       |
| 18                          | 9,37                         | 168,58                                  | 1,94               | 2,71                       |
| 19                          | 8,97                         | 170,44                                  | 1,85               | 2,38                       |
| 20                          | 8,61                         | 172,22                                  | 1,78               | 2,14                       |
| 21                          | 8,28                         | 173,92                                  | 1,71               | 1,94                       |
| 22                          | 7,98                         | 175,57                                  | 1,64               | 1,78                       |
| 23                          | 7,7                          | 177,16                                  | 1,59               | 1,64                       |
| 24                          | 7,45                         | 178,69                                  | 1,53               | 1,53                       |

**Fuente:** Autores, 2016.



**Figura 2.15.** Hietograma de Lluvia total.  
**Fuente:** Autores, 2016.

#### 2.2.5.2 Hietograma de precipitación efectiva.

Para determinar el hietograma de precipitación efectiva ( $P_e$ ), se utiliza el Método del SCS para Abstracciones, según Fattorelli y Fernández (2011) este método ha sido usado con mayor frecuencia que los otros gracias a su practicidad, capacidad operativa y aceptables resultados.

El Soil Conservation Service desarrollo un método para calcular las abstracciones iniciales de la precipitación de una tormenta. La profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa  $P_e$  es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación  $P$ . Después de que la escorrentía inicia, la profundidad adicional del agua retenida en cuenca  $F_a$  es menor o igual a alguna retención potencial máxima  $S$ , luego existe una cantidad de precipitación la en la que no se presente escorrentía, dando una escorrentía potencial  $P-l_a$ . El método SCS establece una relación de igualdad entre las

dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales que se fundamenta en las siguientes expresiones:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

$$S = \left( \frac{100}{CN} - 10 \right) S \text{ (pulgadas)}$$

$$S = \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right) S \text{ (milímetros)}$$

$$P = P_e + I_a + F_a \text{ (Principio de continuidad)}$$

$$I_a = 0.2S$$

Dónde:

P= Precipitación total, en mm

Fa= Profundidad adicional de precipitación retenida en la cuenca, en mm

S= Retención potencial máxima, en centímetros

Ia= Abstracción inicial, en mm.

La retención potencial “S” se relaciona con el concepto del número de curva “CN” que se selecciona en función del grupo de suelo, de las condiciones del uso de la tierra.

En el presente caso, se ha elegido como grupo de suelo “C” siendo este suelo de margas arenosas con bajo contenido orgánico y alto contenido de arcilla y gracias al mapa de cobertura y uso de suelo tenemos que la zona de estudio se encuentra en un bosque natural (ver anexo, mapa de cobertura y uso de suelo) por ende el número de curva CN está entre 77 y 70; promediando tenemos un CN de 73.5.

| <b>Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, <math>I_a = 0.2S</math>)</b> |                             |    |    |    |
|--|-----------------------------|----|----|----|
| Descripción del uso de la tierra   | Grupo hidrológico del suelo |    |    |    |
|  | A                           | B  | C  | D  |
| Tierra cultivada <sup>1</sup> :<br>sin tratamientos de conservación<br>con tratamientos de conservación  | 72                          | 81 | 88 | 91 |
|  | 62                          | 71 | 78 | 81 |
| Pastizales: condiciones pobres<br>condiciones óptimas  | 68                          | 79 | 86 | 89 |
|  | 39                          | 61 | 74 | 80 |
| Vegas de ríos: condiciones óptimas   | 30                          | 58 | 71 | 78 |
| Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,<br>cubierta buena <sup>2</sup>   | 45                          | 66 | 77 | 83 |
|  | 25                          | 55 | 70 | 77 |

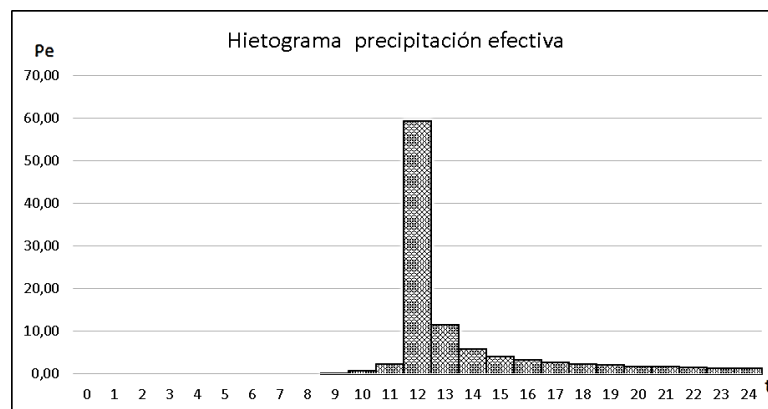
**Figura 2.16.** Número de curvas de escorrentía.

**Fuente:** Ven Te Chow, 1994.

**Tabla VIII.** Cálculo del Hietograma de Precipitación Efectiva (Pe).

| Tiempo<br>(Hora) | Hietograma<br>(mm) | P. Acum<br>(mm) | Abstracción |            | Pe acumulada<br>(mm) | Hietograma<br>precipitación<br>efectiva |
|------------------|--------------------|-----------------|-------------|------------|----------------------|---|
|                  |                    |                 | la<br>(mm)  | Fa<br>(mm) |                      |   |
| 0                | 0                  | 0               | 0           | 0          | 0                    | 0                                       |
| 1                | 1,59               | 1,59            | 1,59        | 0          | 0                    | 0                                       |
| 2                | 1,71               | 3,29            | 3,29        | 0          | 0                    | 0                                       |
| 3                | 1,85               | 5,15            | 5,15        | 0          | 0                    | 0                                       |
| 4                | 2,03               | 7,18            | 7,18        | 0          | 0                    | 0                                       |
| 5                | 2,25               | 9,43            | 9,43        | 0          | 0                    | 0                                       |
| 6                | 2,54               | 11,97           | 11,97       | 0          | 0                    | 0                                       |
| 7                | 2,91               | 14,88           | 14,88       | 0          | 0                    | 0                                       |
| 8                | 3,45               | 18,33           | 18,32       | 0,02       | 0                    | 0                                       |
| 9                | 4,28               | 22,61           | 18,32       | 4,1        | 0,19                 | 0,19                                    |
| 10               | 5,74               | 28,35           | 18,32       | 9,04       | 0,99                 | 0,8                                     |
| 11               | 9,24               | 37,59           | 18,32       | 15,92      | 3,35                 | 2,36                                    |
| 12               | 93,95              | 131,53          | 18,32       | 50,63      | 62,59                | 59,24                                   |
| 13               | 14,14              | 145,68          | 18,32       | 53,27      | 74,09                | 11,5                                    |
| 14               | 7,03               | 152,71          | 18,32       | 54,46      | 79,93                | 5,84                                    |
| 15               | 4,89               | 157,6           | 18,32       | 55,25      | 84,03                | 4,1                                     |
| 16               | 3,81               | 161,41          | 18,32       | 55,84      | 87,25                | 3,22                                    |
| 17               | 3,16               | 164,57          | 18,32       | 56,32      | 89,93                | 2,68                                    |
| 18               | 2,71               | 167,28          | 18,32       | 56,71      | 92,25                | 2,31                                    |
| 19               | 2,38               | 169,66          | 18,32       | 57,05      | 94,29                | 2,04                                    |
| 20               | 2,14               | 171,79          | 18,32       | 57,36      | 96,12                | 1,83                                    |
| 21               | 1,94               | 173,73          | 18,32       | 57,62      | 97,79                | 1,67                                    |
| 22               | 1,78               | 175,51          | 18,32       | 57,87      | 99,33                | 1,54                                    |
| 23               | 1,64               | 177,16          | 18,32       | 58,09      | 100,75               | 1,42                                    |
| 24               | 1,53               | 178,69          | 18,32       | 58,29      | 102,08               | 1,33                                    |

Fuente: Autores, 2016.

**Figura 2.17.** Hietograma de precipitación efectiva.

Fuente: Autores, 2016.

### 2.2.6 Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración es lo que se demora una gota de agua en viajar desde el punto más lejos hasta el punto de salida de la cuenca. Por lo cual tiene una relación con el cálculo de avenidas o crecientes.

Para determinar este parámetro utilizamos la ecuación de Kirpich o de California la cual se expresa de la siguiente manera:

$$T_c = 0.9545 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

T<sub>c</sub>= Tiempo de concentración, en horas.

L= Longitud del cauce principal en, Km

H= Diferencia de la elevación, en metros

Para el cálculo del tiempo de concentración tomamos en consideración tramos del cauce principal con sus respectivas elevaciones (m.s.n.m.) y coordenadas.



**Tabla IX.** Cálculo de tiempo de concentración de la cuenca (Tc).

| CÁLCULO DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN |             |          |                     |                   |                    |            |               |                    |
|------------------------------------|-------------|----------|---------------------|-------------------|--------------------|------------|---------------|--------------------|
| PTO                                | COORDENADAS |          | ELEVACION<br>(msnm) | DISTANCIA<br>(Km) | DIST. ACUM<br>(Km) | DH<br>(Km) | TC<br>(Horas) | TC ACUM<br>(Horas) |
|                                    | X           | Y        |                     |                   |                    |            |               |                    |
| 1                                  | 530859      | 9796584  | 20                  |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 1,95              | 1,95               | 20         | 0,65          | 0,65               |
| 2                                  | 531888      | 9797216  | 40                  |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 2,86              | 4,81               | 20         | 1,01          | 1,67               |
| 3                                  | 533081      | 9798048  | 60                  |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 5,81              | 10,62              | 20         | 2,3           | 3,96               |
| 4                                  | 535770      | 9798615  | 80                  |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 1,77              | 12,39              | 20         | 0,58          | 4,55               |
| 5                                  | 536240      | 9799664  | 100                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 1,41              | 13,8               | 20         | 0,45          | 4,99               |
| 6                                  | 536767,2    | 9800559  | 120                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 0,64              | 14,44              | 20         | 0,18          | 5,17               |
| 7                                  | 537140      | 9800684  | 140                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 1,18              | 15,62              | 20         | 0,36          | 5,54               |
| 8                                  | 538030      | 9800820  | 160                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 1,39              | 17,01              | 40         | 0,34          | 5,88               |
| 9                                  | 539174      | 98009774 | 200                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 1,78              | 18,79              | 40         | 0,45          | 6,33               |
| 10                                 | 540468,4    | 9801424  | 240                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 1,34              | 20,13              | 40         | 0,32          | 6,65               |
| 11                                 | 541460,2    | 9801050  | 280                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 0,56              | 20,69              | 40         | 0,12          | 6,77               |
| 12                                 | 541929,8    | 9801352  | 320                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 0,62              | 21,31              | 40         | 0,13          | 6,9                |
| 13                                 | 542520      | 9801420  | 360                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 0,24              | 21,55              | 40         | 0,04          | 6,94               |
| 14                                 | 542739      | 9801406  | 400                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 0,19              | 21,74              | 40         | 0,03          | 6,98               |
| 15                                 | 542926,4    | 9801419  | 440                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 0,21              | 21,95              | 40         | 0,04          | 7,02               |
| 16                                 | 543133,8    | 9801387  | 480                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 0,12              | 22,07              | 40         | 0,02          | 7,04               |
| 17                                 | 543243      | 9801346  | 520                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 0,105             | 22,175             | 40         | 0,02          | 7,05               |
| 18                                 | 543338,4    | 9801302  | 560                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     | 0,104             | 22,279             | 40         | 0,02          | 7,07               |
| 19                                 | 543422      | 9801240  | 600                 |                   |                    |            |               |                    |
|                                    |             |          |                     |                   |                    |            | >>>           | 7                  |

Fuente: Autores, 2016.

### 2.2.7 Hidrograma de diseño.

De acuerdo a Ven Te Chow (1994) el hidrograma unitario de una cuenca se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de un milímetro de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva.

Existen algunos métodos para la determinación del hidrograma unitario, en este caso se utiliza el hidrograma unitario C.O. CLARK y el hidrograma unitario triangular SCS para luego compararlos y elegir el más consistente.

#### 2.2.7.1 Hidrograma unitario de C.O. CLARK.

En cuanto a teoría el método del hidrograma unitario de C.O. Clark es el más completo, considera el hidrograma total de la cuenca que es generada al sumar todos los hidrogramas de las sub-cuencas desfasados y amortiguados que la forman y que son generados por una lluvia por efecto de almacenamiento. Lo que indica que el hidrograma depende de la lluvia efectiva, el área de la cuenca en porcentaje de acuerdo al mapa de isócronas y el almacenamiento por tramos.

Debido a que el tiempo de concentración es de 7 horas se divide la cuenca con 6 isócronas, que se elaboran en base a la ecuación de interpolación lineal por cada hora, como se presenta a continuación:

**Tabla X.** Cálculo de tiempo de concentración por isocronas (Tc).

| <b>ISOCRONAS</b> |               |              |
|------------------|---------------|--------------|
| <b>Tc</b>        | <b>L (Km)</b> | <b>L (m)</b> |
| 1                | 2,93          | 2933         |
| 2                | 5,66          | 5656         |
| 3                | 8,18          | 8183         |
| 4                | 10,73         | 10729        |
| 5                | 13,82         | 13819        |
| 6                | 17,5          | 17500        |

**Fuente:** Autores, 2016.

Teniendo estos datos se elabora el mapa de isócronas:

**Figura 2.18.** Mapa de isócronas.

**Fuente:** Autores, 2016.

Una vez teniendo el mapa de isócronas se determina el porcentaje de áreas en kilómetros cuadrados.

**Tabla XI.** Porcentaje de áreas entre isócronas.

| AREAS | Km2   | %     |
|-------|-------|-------|
| 1     | 2,22  | 4,64  |
| 2     | 3,43  | 7,16  |
| 3     | 4,42  | 9,23  |
| 4     | 7,35  | 15,35 |
| 5     | 13,15 | 27,46 |
| 6     | 8,16  | 17,04 |
| 7     | 9,16  | 19,13 |

**Fuente:** Autores, 2016.

Basados en la ecuación de continuidad se ha generado métodos para el tránsito de avenidas para su almacenaje. En su método Clark usó la fórmula conocida como de Muskingum, que consiste de lo siguiente:

$$Qe_2 = C_0 Qa_2 + C_1 Qa_2 + C_2 Qe_1$$

Dónde:

$$C_0 = -\frac{KX - 0,5T}{K - KX + 0,5T}$$

$$C_1 = \frac{KX + 0,5T}{K - KX + 0,5T}$$

$$C_2 = \frac{K - KX - 0,5T}{K - KX + 0,5T}$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

A continuación se presentan los datos y el cálculo por el método de C.O.CLARK para determinar el hidrograma unitario:

**Tabla XII.** Datos para cálculo “Hidrograma unitario”, Método C.O. CLARK.

| Datos para el cálculo del Hidrograma Unitario, Método de C.O. Clark |                          |       |  |     |                          |      |
|---|--------------------------|-------|--|-----|--------------------------|------|
| MANGLARALTO   | Area (Km <sup>2</sup> ): | 47,89 | T <sub>r</sub> (horas):  | 4,2 | T <sub>ci</sub> (horas): | 1    |
|   | Longitud (Km):           | 21,08 |  |     | T <sub>c</sub> (horas):  | 7    |
| $C_0 = C_1 = (0,5 \times T_{ci}) / (T_r + 0,5 T_{ci}) =$            | 0,11                     |       | $E_U = (Lluvia (m) \times Area (m^2)) / (T_{ci} (s) \times 100) =$ |     |                          | 0,13 |
| $C_2 = 1 - 2C_1 =$  | 0,79                     |       | [12] = [11] x (T <sub>ci</sub> /T <sub>total</sub> )               |     |                          |      |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XIII.** Cálculo del Hidrograma unitario, Método C.O. CLARK.

| Cálculo del Hidrograma Unitario, Método de C.O. Clark |                       |  |                      |           |                               |  |
|---|-----------------------|--|----------------------|-----------|-------------------------------|--|
| Tiempo (horas)  | Área de la Cuenca (%) | Almacenamiento - Método de Muskingum     |                      |           | H,U, INST (m <sup>3</sup> /s) | Hidrograma Unitario (T <sub>c</sub> horas) |
|   |                       | (C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> ) x [2] | C <sub>2</sub> X [5] | [3] + [4] |                               |  |
| [1]   | [2]                   | [3]                                      | [4]                  | [5]       | [6]                           | [7]  |
| 0   | 0                     | 0  | 0                    | 0         | 0                             | 0  |
| 1   | 4,64                  | 0,99                                     | 0                    | 0,99      | 0,13                          | 0,07                                       |
| 2   | 7,16                  | 1,52                                     | 0,78                 | 2,3       | 0,31                          | 0,22                                       |
| 3   | 9,23                  | 1,96                                     | 1,81                 | 3,77      | 0,5                           | 0,4  |
| 4   | 15,35                 | 3,27                                     | 2,97                 | 6,24      | 0,83                          | 0,67                                       |
| 5   | 27,46                 | 5,84                                     | 4,91                 | 10,75     | 1,43                          | 1,13                                       |
| 6   | 17,04                 | 3,63                                     | 8,46                 | 12,09     | 1,61                          | 1,52                                       |
| 7   | 19,13                 | 4,07                                     | 9,52                 | 13,59     | 1,81                          | 1,71                                       |
| 8   |                       |  | 10,7                 | 10,7      | 1,42                          | 1,62                                       |
| 9   |                       |  | 8,42                 | 8,42      | 1,12                          | 1,27                                       |
| 10  |                       |  | 6,63                 | 6,63      | 0,88                          | 1  |
| 11  |                       |  | 5,22                 | 5,22      | 0,69                          | 0,79                                       |
| 12  |                       |  | 4,11                 | 4,11      | 0,55                          | 0,62                                       |
| 13  |                       |  | 3,23                 | 3,23      | 0,43                          | 0,49                                       |
| 14  |                       |  | 2,55                 | 2,55      | 0,34                          | 0,38                                       |
| 15  |                       |  | 2                    | 2         | 0,27                          | 0,3  |
| 16  |                       |  | 1,58                 | 1,58      | 0,21                          | 0,24                                       |
| 17  |                       |  | 1,24                 | 1,24      | 0,17                          | 0,19                                       |
| 18  |                       |  | 0,98                 | 0,98      | 0,13                          | 0,15                                       |
| 19  |                       |  | 0,77                 | 0,77      | 0,1                           | 0,12                                       |
| 20  |                       |  | 0,61                 | 0,61      | 0,08                          | 0,09                                       |
| 21  |                       |  | 0,48                 | 0,48      | 0,06                          | 0,07                                       |
| 22  |                       |  | 0,38                 | 0,38      | 0,05                          | 0,06                                       |
| 23  |                       |  | 0,3                  | 0,3       | 0,04                          | 0,04                                       |
| 24  |                       |  | 0,23                 | 0,23      | 0,03                          | 0,04                                       |

Fuente: Autores, 2016.

Se realiza el cálculo de crecida de diseño para un periodo de retorno de 100 años por el hidrograma de precipitación efectiva. (Ver Tabla 13). A continuación se presenta el gráfico Caudal vs Tiempo, donde la máxima crecida para una frecuencia de 100 años es de 136.65 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 2.19.** Curva Caudal vs Tiempo (C.O. CLARK).  
**Fuente:** Autores, 2016.

Tabla XIV. Cálculo de creciente de diseño para una frecuencia de 100 años (Método C.O. CLARK)

| Hidrograma Unitario precipitación efectiva |  | Cálculo de la Creciente de Diseño para una Frecuencia de 100 años (C.O. CLARK) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|--|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| tiempo (horas)                             | Hidrograma Unitario precipitación efectiva | 0.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 2.4 | 59.2 | 115.5 | 5.8 | 4.1 | 3.2 | 2.7 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |  |
| 0.00                                       | 0.00                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 1.00                                       | 0.07                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 2.00                                       | 0.22                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 3.00                                       | 0.49                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 4.00                                       | 0.67                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 5.00                                       | 1.13                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 6.00                                       | 1.52                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 7.00                                       | 1.71                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 8.00                                       | 1.62                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 9.00                                       | 1.27                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 10.00                                      | 1.00                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 11.00                                      | 0.79                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 12.00                                      | 0.62                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 13.00                                      | 0.49                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 14.00                                      | 0.38                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 15.00                                      | 0.30                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 16.00                                      | 0.24                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 17.00                                      | 0.19                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 18.00                                      | 0.15                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 19.00                                      | 0.12                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 20.00                                      | 0.09                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 21.00                                      | 0.07                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 22.00                                      | 0.06                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 23.00                                      | 0.04                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 24.00                                      | 0.04                                       |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 25.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 26.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 27.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 28.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 29.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 30.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 31.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 32.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 33.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 34.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 35.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 36.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 37.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 38.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 39.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 40.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 41.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 42.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 43.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 44.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 45.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 46.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 47.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| 48.00                                      |  |  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |

Fuente: Autores, 2016.

### 2.2.7.2 Hidrograma unitario triangular SCS.

El Hidrograma unitario triangular es un método sintético en que el tiempo y el caudal se expresa en un caudal pico ( $Q_p$ ) y del tiempo pico ( $t_p$ ) respectivamente. La ecuación de la SCS relaciona el caudal pico con el tiempo pico como se muestra a continuación:

$$Q_p = \frac{2.08A}{t_p}$$

Donde A es el área de la cuenca de drenaje del proyecto con un valor aproximado de 48.

El tiempo de concentración es un parámetro importante para el cálculo de caudal pico y se lo determina con la ecuación de kirpich:

$$T_c = 0.9545 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

En este caso el tiempo de concentración de la cuenca es de 7.07 horas. Para graficar el hidrograma unitario triangular es necesario determinar parámetros que están en función directamente con el tiempo de concentración como la duración efectiva, el tiempo de retardo, tiempo pico y tiempo base, que se expresan a continuación:



$$de = 2\sqrt{t_c}$$

$$t_r = 0.6 * \sqrt{t_c}$$

$$t_p = \left(\frac{de}{2}\right) + t_r$$

$$t_b = 2.67t_p$$

Dónde:

$t_c$ = Tiempo de concentración, en horas

$de$ = Duración efectiva, en horas

$t_p$ = Tiempo al pico, en horas.

$t_b$ = Tiempo base, en horas

$A$ = Superficie de la cuenca, en Km<sup>2</sup>

$Q_p$ = Caudal pico, en m<sup>3</sup>/s

Los resultados se reflejan en la siguiente tabla:

**Tabla XV.** Resultados del cálculo de caudal pico.

|                          |       |                      |
|--------------------------|-------|----------------------|
| <b>Área de la cuenca</b> | 48    | Km <sup>2</sup>      |
| <b>tc</b>                | 7,07  | horas                |
| <b>de</b>                | 5,32  | horas                |
| <b>tr</b>                | 1,6   | horas                |
| <b>tp</b>                | 4,25  | horas                |
| <b>tb</b>                | 11,36 | horas                |
| <b>qp</b>                | 2,35  | m <sup>3</sup> /s/mm |

Fuente: Autores, 2016.

A continuación se presenta los datos y el diagrama triangular:

**Tabla XVI.** Datos para graficar el Hidrograma triangular.

| <b>T</b>       | <b>q</b>                    |
|----------------|-----------------------------|
| <b>[horas]</b> | <b>[m<sup>3</sup>/s/mm]</b> |
| 0              | 0                           |
| 4,2543155      | 2,3467935                   |
| 11,359022      | 0                           |

Fuente: Autores, 2016.



**Figura 2.20.** Hidrograma Unitario Triangular.

Fuente: Autores, 2016.

Con los parámetros del Hidrograma Triangular y las coordenadas del hidrograma adimensional se obtiene la tabla de tiempo y el caudal (Tabla 17).

**Tabla XVII.** Hidrograma Adimensional y Datos del Hidrograma Unitario.

| t/tp Vs. Q/qp |       | t(s) Vs. q(m <sup>3</sup> /s/mm) |                         |
|---------------|-------|----------------------------------|-------------------------|
| t/tp          | Q/qp  | t(s)                             | q(m <sup>3</sup> /s/mm) |
| 0             | 0     | 0                                | 0                       |
| 0,1           | 0,015 | 0,43                             | 0,04                    |
| 0,2           | 0,075 | 0,85                             | 0,18                    |
| 0,3           | 0,16  | 1,28                             | 0,38                    |
| 0,4           | 0,28  | 1,7                              | 0,66                    |
| 0,5           | 0,43  | 2,13                             | 1,01                    |
| 0,6           | 0,6   | 2,55                             | 1,41                    |
| 0,7           | 0,77  | 2,98                             | 1,81                    |
| 0,8           | 0,89  | 3,4                              | 2,09                    |
| 0,9           | 0,97  | 3,83                             | 2,28                    |
| 1             | 1     | 4,25                             | 2,35                    |
| 1,1           | 0,98  | 4,68                             | 2,3                     |
| 1,2           | 0,92  | 5,11                             | 2,16                    |
| 1,3           | 0,84  | 5,53                             | 1,97                    |
| 1,4           | 0,75  | 5,96                             | 1,76                    |
| 1,5           | 0,65  | 6,38                             | 1,53                    |
| 1,6           | 0,57  | 6,81                             | 1,34                    |
| 1,8           | 0,43  | 7,66                             | 1,01                    |
| 2             | 0,32  | 8,51                             | 0,75                    |
| 2,2           | 0,24  | 9,36                             | 0,56                    |
| 2,4           | 0,18  | 10,21                            | 0,42                    |
| 2,6           | 0,13  | 11,06                            | 0,31                    |
| 2,8           | 0,098 | 11,91                            | 0,23                    |
| 3             | 0,075 | 12,76                            | 0,18                    |
| 3,5           | 0,036 | 14,89                            | 0,08                    |
| 4             | 0,018 | 17,02                            | 0,04                    |
| 4,5           | 0,009 | 19,14                            | 0,02                    |
| 5             | 0,004 | 21,27                            | 0,01                    |

**Fuente:** Autores, 2016.

Para efectos de pre-diseño, se interpola los valores del caudal del hidrograma unitario teniendo en cuenta valores de hasta 12 horas.

**Tabla XVIII.** Datos del Hidrograma Unitario de 12 horas Interpolado.

| t  | q    |
|----|------|
| 0  | 0    |
| 1  | 0,25 |
| 2  | 0,9  |
| 3  | 1,82 |
| 4  | 2,3  |
| 5  | 2,19 |
| 6  | 1,74 |
| 7  | 1,26 |
| 8  | 0,91 |
| 9  | 0,64 |
| 10 | 0,46 |
| 11 | 0,31 |
| 12 | 0    |

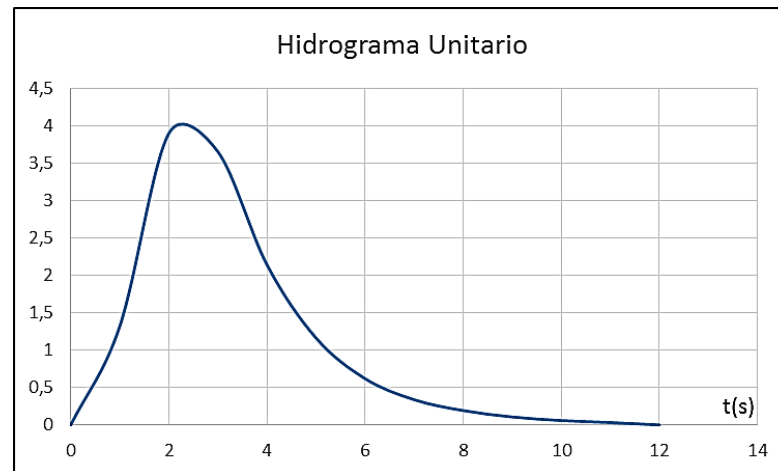
**Fuente:** Autores, 2016.

**Tabla XIX.** Cálculo de Creciente de Diseño para una Frecuencia de 100 años (Método SCS).

| Cálculo de la Creciente de Diseño para una Frecuencia de 100 años |  |                                   |   |   |   |   |     |       |       |       |     |      |      |      |      |        |
|---|--|-----------------------------------|---|---|---|---|-----|-------|-------|-------|-----|------|------|------|------|--------|
| tiempo (horas)  | Hidrograma Unitario (m <sup>3</sup> /s/mm) | Hietograma precipitación efectiva | 0 | 0 | 0 | 0 | 0   | 0,54  | 52,63 | 11,17 | 5,7 | 4,01 | 3,16 | 2,63 | 2,27 | q      |
|   | 0  | 0                                 |   |   |   |   |     |       |       |       |     |      |      |      |      |        |
| 1   | 0,246                                      | 0                                 |   |   |   |   |     |       |       |       |     |      |      |      |      | 0      |
| 2   | 0,904                                      | 0                                 | 0 |   |   |   |     |       |       |       |     |      |      |      |      | 0      |
| 3   | 1,822                                      | 0                                 | 0 | 0 |   |   |     |       |       |       |     |      |      |      |      | 0      |
| 4   | 2,305                                      | 0                                 | 0 | 0 | 0 |   |     |       |       |       |     |      |      |      |      | 0      |
| 5   | 2,194                                      | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 |     |       |       |       |     |      |      |      |      | 0      |
| 6   | 1,736                                      | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 |       |       |       |     |      |      |      |      | 0,13   |
| 7   | 1,263                                      | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 12,9  |       |       |     |      |      |      |      | 13,43  |
| 8   | 0,905                                      | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1   | 47,6  | 2,7   |       |     |      |      |      |      | 51,3   |
| 9   | 0,643                                      | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,2 | 95,9  | 10,1  | 1,4   |     |      |      |      |      | 108,61 |
| 10  | 0,457                                      | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,2 | 121,3 | 20,3  | 5,2   | 1   |      |      |      |      | 148,96 |
| 11  | 0,314                                      | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9 | 115,5 | 25,7  | 10,4  | 3,6 | 0,8  |      |      |      | 156,92 |
| 12  | 0  | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 91,4  | 24,5  | 13,1  | 7,3 | 2,9  | 0,6  |      |      | 140,48 |
| 13  |  |                                   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 66,5  | 19,4  | 12,5  | 9,2 | 5,8  | 2,4  | 0,6  |      | 116,79 |
| 14  |  |                                   |   | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 47,6  | 14,1  | 9,9   | 8,8 | 7,3  | 4,8  | 2,1  |      | 94,91  |
| 15  |  |                                   |   |   | 0 | 0 | 0,2 | 33,8  | 10,1  | 7,2   | 7   | 6,9  | 6,1  | 4,1  |      | 75,46  |
| 16  |  |                                   |   |   |   | 0 | 0,2 | 24,1  | 7,2   | 5,2   | 5,1 | 5,5  | 5,8  | 5,2  |      | 58,12  |
| 17  |  |                                   |   |   |   |   | 0   | 16,5  | 5,1   | 3,7   | 3,6 | 4    | 4,6  | 5    |      | 42,44  |
| 18  |  |                                   |   |   |   |   |     | 0     | 3,5   | 2,6   | 2,6 | 2,9  | 3,3  | 3,9  |      | 18,81  |
| 19  |  |                                   |   |   |   |   |     |       | 0     | 1,8   | 1,8 | 2    | 2,4  | 2,9  |      | 10,9   |
| 20  |  |                                   |   |   |   |   |     |       |       | 0     | 1,3 | 1,4  | 1,7  | 2,1  |      | 6,45   |
| 21  |  |                                   |   |   |   |   |     |       |       |       | 0   | 1    | 1,2  | 1,5  |      | 3,65   |
| 22  |  |                                   |   |   |   |   |     |       |       |       |     | 0    | 0,8  | 1    |      | 1,86   |
| 23  |  |                                   |   |   |   |   |     |       |       |       |     |      | 0    | 0,7  |      | 0,71   |
| 24  |  |                                   |   |   |   |   |     |       |       |       |     |      |      | 0    |      | 0      |

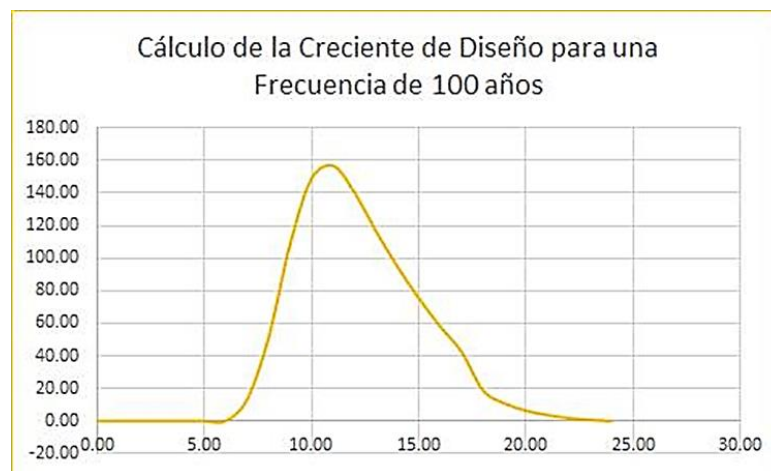
Fuente: Autores, 2016.

Los datos de precipitación efectiva calculados anteriormente por el método de abstracciones fueron tomados en cuenta para el cálculo de creciento hasta 12 horas como se presenta a continuación:



**Figura 2.21.** Hidrograma Unitario método SCS.  
**Fuente:** Autores, 2016.

A continuación se presenta el gráfico Caudal vs Tiempo, donde la máxima crecida para una frecuencia de 100 años es de 156.92 m<sup>3</sup>/s



**Figura 2.22.** Curva Caudal vs Tiempo (SCS).  
**Fuente:** Autores, 2016.

### 2.2.8 Comparación de caudales máximos.

En la siguiente tabla se presenta los caudales máximos registrados por dos métodos:

**Tabla XX.** Comparación de caudales máximos.

| <b>Tr(Periodo de Retorno)</b> | <b>Hidrograma Unitario C.O. CLARK</b> | <b>SCS</b>               |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 100 años                      | 136.65 m <sup>3</sup> /s              | 156.92 m <sup>3</sup> /s |

Fuente: Autores, 2016.

Los valores obtenidos no necesariamente deben ser iguales ya que su metodología es diferente, el método de C.O. CLARK trabaja con tránsito de almacenamiento de avenidas en donde el caudal se hace más consistente en comparación al método SCS que trabaja con caudales pico y datos adimensionales. Es decir, el método de C.O. CLARK supone que la cuenca de drenaje funciona como un depósito; un aumento del caudal de entrada en este depósito se refleja en el caudal de salida amortiguado y retardado.

Teniendo en cuenta que el hidrograma triangular se basa en la hipótesis de que un hidrograma puede ser presentado como un diagrama triangular, lo cual influye directamente en la confianza de un pre-diseño, además existen estudios hidrológicos como por ejemplo la realizada en la Represa DAULE-PERIPA en donde se acercaron los datos del Hidrograma Unitario de C.O. CLARK con el Hidrograma Natural.

Para finalizar utilizaremos el caudal obtenido por el método de C.O. CLARK.

### **2.3 Estudios geotécnicos para la presa en Manglaralto.**

Para el estudio en la zona de Manglaralto donde el suelo presenta unas características especiales debido a su cercanía al mar y al estar ubicado el

sitio de la presa cerca del bosque, este suelo presenta los siguientes resultados.

Se cabe recalcar la importancia de un debido estudio del suelo y los ensayos que se necesitan para determinar sus propiedades, puesto que con estos resultados, se determinara el tipo de presa, sus dimensiones y su forma de construcción final.

### 2.3.1 Tipos de suelos.

La clasificación de los suelos se basa en la morfología y la composición del suelo. Donde se encuentran dos clasificaciones para los tipos de suelo, una según su funcionalidad y otra de acuerdo a sus características físicas.

#### 2.3.1.1 Por funcionalidad.

- Arenosos: No retienen el agua, tienen muy poca materia orgánica y no son aptos para la agricultura, ya que por eso son tan coherentes.
- Calizos: Tienen abundancia de sales calcáreas, son de color blanco, secos y áridos, y no son buenos para la agricultura.
- Humíferos (tierra negra): Tienen abundante materia orgánica en descomposición, de color oscuro, retienen bien el agua y son excelentes para el cultivo.

- Arcillosos: Están formados por granos finos de color amarillento y retienen el agua formando charcos. Si se mezclan con humus pueden ser buenos para cultivar.
- Pedregosos: Formados por rocas de todos los tamaños, no retienen el agua y no son buenos para el cultivo.
- Mixtos: Tiene características intermedias entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos.

#### 2.3.1.2 Por características físicas.

- Litosoles: Se considera un tipo de suelo que aparece en escarpas y afloramientos rocosos, su espesor es menor a 10 cm y sostiene una vegetación baja.
- Cambisoles: Son suelos jóvenes con proceso inicial de acumulación de arcilla. Se divide en vértigos, gleycos, eutrícos y crómicos.
- Luvisoles: Presentan un horizonte de acumulación de arcilla con saturación superior al 50%.
- Acrisoles: Presentan un marcado horizonte de acumulación de arcilla y bajo saturación de bases al 50%.
- Gleysoles: Presentan agua en forma permanente o semipermanente con fluctuaciones de nivel freático en los primeros 50 cm.
- Fluvisoles: Son suelos jóvenes formados por depósitos fluviales, la mayoría son ricos en calcio.



- Rendzina: Presenta un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad. Es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza.
- Vertisoles: Son suelos arcillosos de color negro, presentan procesos de contracción y expansión, se localizan en superficies de poca pendiente y cercanos escurrimientos superficiales.

### 2.3.2 Muestreo en suelos.

Se estimó pertinentemente, que si bien el trabajo sería del seguimiento en la metodología de pruebas de laboratorio, debería indicarse la forma de la obtención de muestras a usar; esto implica, la exposición de los diferentes métodos usados para investigar características de un sitio mediante la extracción de muestras alteradas e inalteradas que se usarán en el laboratorio o directamente en el campo.

#### 2.3.2.1 Identificación de suelos en el campo.

Lo que permite conocer en forma cualitativa las propiedades mecánicas e hidráulicas de un suelo, atribuyéndole las del grupo según en que se sitúe según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

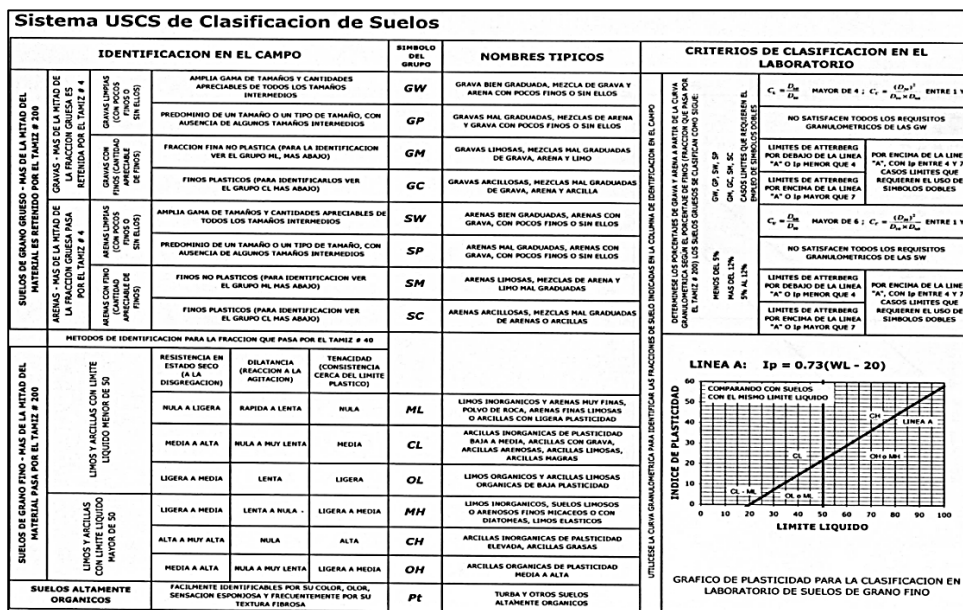


Figura 2.23. Sistema USCS de Clasificación de suelo.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2016.

### 2.3.3 Toma de muestra de suelo IN SITU.

Las muestras de suelo pueden obtenerse de dos formas, de acuerdo con el tipo de ensayo que se va a realizar. Estas son:

- Muestras alteradas: que no reflejan exactamente como se encontraba el suelo en su estado natural antes del muestreo.
- Muestras no alteradas: que reflejan exactamente como se encontraba el suelo en su estado natural antes del muestreo.

Las muestras alteradas se utilizan para los ensayos más sencillos y en particular para los que usted mismo realizará en el terreno. Las muestras no alteradas son necesarias para los ensayos más complejos que es menester efectuar en el laboratorio para obtener análisis físicos.

Las muestras de suelo pueden tomarse siguiendo tres métodos que requieren excavar, taladrar o perforar huecos en el lugar donde se piensa tomar muestras de distintas profundidades. Estos métodos son los siguientes:

- Método de la calicata.
- Método de la barrena de sondeo.
- Método del tubo de paredes delgadas.

#### 2.3.3.1 Método de la calicata.

La calicata es un medio disponible que permite examinar un perfil de suelo en su estado natural. Puede excavar a mano o con equipos especiales. De ser necesario, podrá obtener muestras no alteradas de horizontes seleccionados de una calicata.

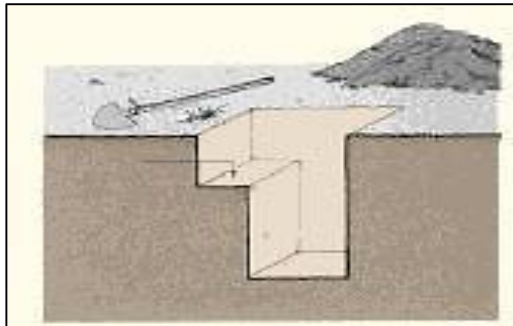
Los pasos para realizar una calicata son los siguientes

Excave una calicata con paredes rectas de 0,80 x 1,50 m y 2 m de profundidad, o, si ésta es menor, hasta alcanzar la roca madre; la parte superior de la calicata deberá ser lo suficientemente amplia como para que pueda ver el fondo.

Si se selecciona un suelo aluvial, es posible que encuentre aguas subterráneas antes de alcanzar los 2 metros. Si encuentra agua, será imposible seguir

excavando, pero se debe tomar muestras del suelo del fondo de la calicata a la mayor profundidad posible.

Cuando se termina de excavar, se examina cuidadosamente las paredes bien expuestas de la calicata para determinar los distintos horizontes del suelo. Esto se denomina perfil del suelo y debe examinarse nada más se acaba de excavar.



**Figura 2.24.** Método de la calicata.  
**Fuente:** Braja M. Das

#### 2.3.3.2 Método de la barrena de sondeo.

Es una manera para obtener muestras de suelo de distintas profundidades mediante la perforación. Con este método se puede tomar una serie continua de muestras de suelo y así juntar un testigo de perforación que muestre los horizontes del suelo. El método de la barrena de sondeo es barato y rápido; le permite revisar el suelo en varios lugares de su terreno, aunque sólo proporciona muestras alteradas. La barrena de sondeo puede utilizarse en la mayoría de los suelos que cubren la capa freática y en los suelos cohesivos

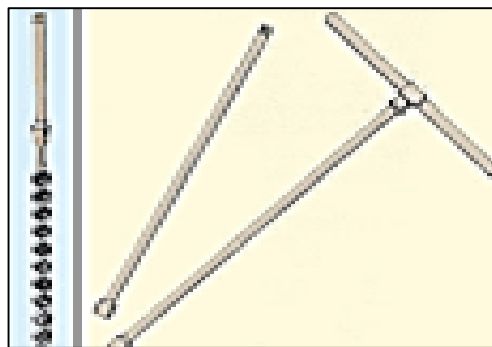
que están debajo de está. Existen varios tipos de barrenas de sondeo, pero las más corrientes son la barrena hueca y la barrena helicoidal.

**La barrena hueca:** Es un cilindro de metal de unos 16 cm de longitud y de 8 a 10 cm de diámetro. Tiene un filo cortante en el borde inferior, que le permite atravesar fácilmente casi todos los suelos. La mayoría de las barrenas huecas están dotadas de un barreno y una empuñadura que le permiten tomar muestras a mayores profundidades, a menudo hasta 1,1 m. Las muestras que se toman con barrena hueca usualmente se alteran algo, pero son aceptables para la mayor parte de los fines del muestreo. Dentro de las limitaciones con este artefacto se encuentra que es menos eficiente en los suelos que contengan mucha arena y grava; es difícil de utilizar en los suelos arcillosos y la profundidad del muestreo se limita a poco más de un metro a como máximo.



**Figura 2.25.** Barrena Hueca.  
**Fuente:** Braja M. Das

**La barrena helicoidal:** Es una espiral metálica de unos 30 cm de longitud y de 3,5 a 4 cm de diámetro. La barrena helicoidal está dotada de varios barrenos, por lo general de 30 cm de longitud, que pueden ensamblarse uno a uno para tornar muestras a mayores profundidades. Dentro de las limitaciones están que las muestras de suelo se alteran severamente; no es eficaz en suelos que contengan mucha arena y grava; y es difícil de usar en arcilla dura.



**Figura 2.26.** Barrena Helicoidal.

**Fuente:** Braja M. Das

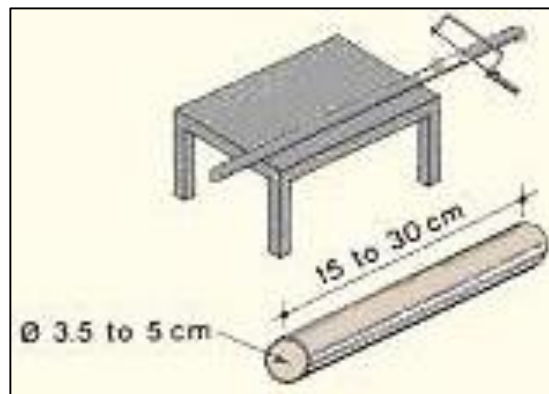
Los pasos para realizar el método de la barrena es el siguiente:

Se introduce la barrena en el suelo hasta una profundidad de 10 a 15 cm, luego se extrae la barrena cuidadosamente para mantener el suelo en su lugar, tal como se encontraba en el lugar y se coloca la muestra en una lámina de material plástico o una hoja de periódico se debe continuar las perforaciones de 10 a 15 cm cada una; colocando las secciones obtenidas sucesivas una tras otra para juntar un testigo de perforación que muestre los horizontes del suelo. Si se llegase a encontrar agua, se perfora con mayor cuidado, tratando

de perforar otros 30 o 40 cm. Hay que tener en cuenta que si el suelo que está debajo del agua contiene mucha arena, las paredes del hueco no se sostendrán y se suspende la perforación. Si el suelo que está debajo del agua contiene suficiente arcilla, las paredes del hueco se sostendrán y se puede seguir perforando aun debajo del nivel del agua.

**Método del tubo de paredes delgadas:** Con este método se utiliza un tubo o conducto liviano abierto por ambos extremos. Se introduce en el suelo para obtener una muestra y luego se extrae de la cavidad. Si el método se aplica correctamente, se obtienen muestras no alteradas.

Se fabrican los tubos estándar de paredes delgadas de 30 a 60 cm de longitud y de 4 a 7 cm de diámetro, pero se pueden fabricar tubos propios de muestreo con recortes de tuberías de acero de paredes de calibre N° 16 (1,6 mm) o N° 18 (1,25 mm), de 15 a 30 cm de longitud y de 3,5 a 5 cm de diámetro. Las limitaciones de este método son que no es eficaz si se emplea en suelos sueltos, tampoco para suelos muy duros o con indicios de suelo con gravas. Es importante recordar que, si se aplica correctamente, este método le permitirá obtener muestras de suelo casi sin alteraciones. El grado de alteración de las muestras dependerá de la forma en que se introduzca en el suelo el tubo de muestreo y de las características de éste.



**Figura 2.27.** Método del tubo de paredes delgadas.  
**Fuente:** Braja M. Das

Los pasos para realizar el método del tubo de paredes delgadas son:

Primero se excava una calicata para luego determinar los horizontes del perfil del suelo, después se elabora una nota con las profundidades de las capas. Teniendo los tubos se los engrasa de manera cuidadosa en la pared interna. Se introduce el tubo horizontalmente en el suelo donde se desea tomar la muestra, haciendo el procedimiento con rapidez y una velocidad constante de penetración, en el caso que se encuentre un suelo resistente al corte, se utiliza un martillo y un trozo de madera con los que se golpea en el borde superior del tubo a manera de hincado. Luego se extrae el tubo con mucho cuidado, tratando de mantener la posición horizontal para no alterar la muestra dentro. Para finalizar se cierra el tubo herméticamente por ambos extremos, para ello se utiliza telas o se cierra con plástico, se etiqueta y se tiene el registro del lugar, calicata y profundidad del estrato de donde proviene.



En el caso de nuestro proyecto se optó por el método de la calicata con el tubo de pared delgada tomando varios sacos con material suelto así como tubos con la muestra inalterada para los posteriores análisis.



**Figura 2.28.** Muestra de suelo representativo de las calicatas.  
**Fuente:** Autores, 2016.

#### 2.3.4 Análisis de los ensayos en el laboratorio.

**RELACIONES VOLUMÉTRICAS:** Estas pruebas de tipo volumétrico y gravimétrico, tienen como objeto el conocer el contenido de agua y el peso volumétrico en estado natural, tanto en el laboratorio como en el campo.

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA DE SÓLIDOS:** Nos sirve para determinar la relación entre el peso específico de las partículas de un suelo y el peso específico del agua destilada a 4 °C.

**GRANULOMETRÍA:** Esta prueba consiste en clasificar los suelos, y por medio del cálculo obtener los coeficientes de uniformidad y curvatura del material, y, la determinación conveniente de utilizar el material en la construcción de pavimentos o como agregado pétreo del concreto.

**LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG:** Estas pruebas tienen como objeto, determinar la plasticidad de la porción del material que pasa la malla # 40 y que forma parte del suelo. Los límites de consistencia, junto con la granulometría, son básicos para juzgar la calidad que se pretende usar en terraplenes de cortinas, sub-base y base de pavimentos. Se pretende la presencia o ausencia de materiales finos, que sean perjudiciales para los suelos y para los agregados pétreos.

**COMPACTACIÓN:** Con estas pruebas, en sus diferentes formas (impacto y amasado), se persigue la obtención del peso volumétrico máximo que puede alcanzar el material en estudio, y su correspondiente humedad óptima.

**COMPRESIÓN SIMPLE:** Esta prueba queda circunscrita a arcillas y suelos cohesivos en los que se determina la resistencia a la compresión simple, la definición del parámetro de resistencia ( $c$ ), y la interpretación del tipo de falla que sufre el material conforme a sus características.

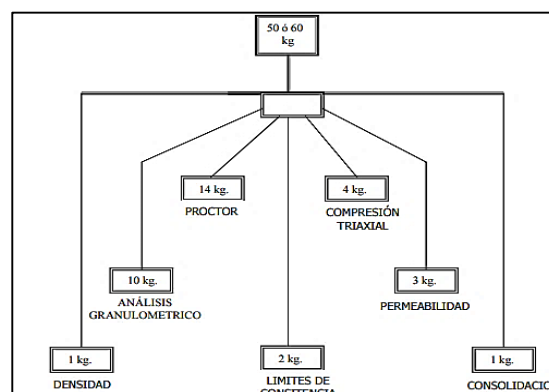
**CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL:** Con la realización de esta prueba se pueden obtener las curvas de compresibilidad de un suelo, y la de consolidación de cada incremento de carga; por medio del cálculo, la carga de pre consolidación, la permeabilidad del suelo, los coeficientes de consolidación y compresibilidad, además de los tiempos de asentamientos de un suelo bajo una carga.

**PRUEBAS DE PERMEABILIDAD:** El principal objetivo de estas pruebas, es la determinación del coeficiente de permeabilidad de los diferentes tipos de suelos en el laboratorio y referenciado a 20° C.

**PRUEBAS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL:** Estas pruebas son las más usuales para determinar los parámetros de cohesión ( $c$ ), ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) de los suelos; así como para la interpretación correcta de los esfuerzos en el Círculo de Mohr, y de la curva Esfuerzo – Deformación.

### 2.3.5 Ensayos del suelo a utilizar en el pre diseño de la presa.

La cantidad de suelo que hay que enviar al laboratorio depende del programa de pruebas, y debe ser suficiente para repetir los ensayos cuyos resultados se juzguen incorrectos o aberrantes. Las muestras alteradas usuales en estudios de materiales provenientes de un banco de préstamo pueden constar de 50 a 60 kg de material.



**Figura 2.29.** Repartición de la muestra según el ensayo en el laboratorio.

**Fuente:** Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos (U. Autónoma de Guerrero, México).

En muestras se realizó los siguientes ensayos que son los necesarios para examinar el pre factibilidad de un pre diseño de la presa.

#### 2.3.6 Granulometría.

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaño los granos que lo componen. Este análisis, es de poca utilidad en los suelos finos, pero permite formarse una idea aproximada de algunas propiedades de los gruesos. A los métodos para la separación de un suelo en diferentes fracciones según sus tamaños, se le denomina generalmente con el nombre de "Análisis combinado". Este análisis consiste en el uso de:

- a).** - Mallas; que se concreten a filtrar el suelo mediante una serie de mallas que definan el tamaño de las partículas.
  
- b).** - El método del hidrómetro(densímetro); que es el que permite aplicar con más exactitud la Ley de Stokes, que rige la caída libre de una esfera en un líquido.

La prueba de granulometría, entre otros usos, nos sirve para clasificar los suelos, y por medio del cálculo obtener los coeficientes de uniformidad y curvatura del material, y la determinación conveniente de utilizar el material en la construcción de pavimentos o como agregados pétreos del concreto.

De los métodos de análisis generalmente el combinado o total se aplica si el material contiene más del 25 % en peso de gramos retenidos en la malla N° 200.

Equipo:

- Juego de mallas. Las dimensiones de las mallas deben adaptarse al material y al objetivo de la prueba
- Balanza de capacidad de 1 500 gr y precisión nominal de 0.01 gr
- Cápsula de porcelana
- Horno de temperatura constante (110°C)
- Piseta
- Charolas
- Termómetro
- Pipeta

Preparar una muestra, es someterla a la operación de secado, disgregado y cuarteado, consiguiendo con ello, que la porción que de ella se tome para efectuar la prueba del análisis granulométrico, sea representativa. Las muestras alteradas, se dividen en dos fracciones, constituidas por el material menor y mayor que la malla N° 4. Todas las fracciones mayores se someten

al análisis por mallas y se debe encontrar limpia de finos. Sólo una parte de la fracción menor es sometida al análisis granulométrico:

- Suelos arcillosos y limos 200 a 500 gr
- Suelos arenosos 500 a 1000 gr

Esta porción de muestra se debe obtener por cuarteo para que sea representativa de la fracción analizada. A menos que el material sea una arena limpia, la porción mencionada debe, a su vez dividirse en fracción gruesa y otra fina (partículas mayores o menores que la malla N° 200) antes de ser sometida al análisis combinado. Esta operación puede realizarse por decantación sucesiva o por lavado en la malla N° 200. Se aplica, por separado, el análisis por mallas a la fracción retenida y a la que pasa por la malla N° 4, lavada de sus finos en la forma indicada anteriormente.

#### **Materiales retenidos en la malla n° 4.**

Todo el material retenido en la malla N° 4 se pone a secar al horno y se deja enfriar en un desecador (secado más rápido que haciéndolo al sol). Se limpia un juego de mallas de 76.2 mm (3"), 50.8 (2"); 25.4 mm (1"), 12.7 mm (0.5") y 9.52 mm (3/8"), y se colocan en este orden con la abertura mayor en la parte superior. En la parte inferior se coloca la malla N° 4 y una charola para recoger

el material que pasa a través de las mallas. Se vacía el material en la parte superior y se agita el juego de mallas con movimientos horizontales y verticales combinados.

Después, se pesa sobre una hoja de papel, la fracción retenida en cada malla y se anotan los resultados en la lámina 5.1. Se verifica que la suma de los pesos parciales sea igual al peso inicial de toda la fracción mayor, con tolerancia del 1%.

#### **Material que pasa en la malla n° 4.**

1. Se limpian y pesan las mallas siguientes: N° 10, N° 20, N° 40, N° 100, N° 200.
2. Se transfiere la porción de material, lavado de finos, al juego de mallas colocado en el orden indicado, con la mayor abertura arriba y una charola en la parte inferior. Enseguida se coloca la tapa.
3. Se agita todo el juego de mallas con movimientos horizontales de rotación, y movimientos bruscos verticales intermitentes, durante un tiempo mínimo de 15 minutos. El tiempo de agitado debe ser mayor si la cantidad de finos es importante o si se trata de un material con granos angulosos. Para esta operación es recomendable el uso de un agitador mecánico.

4. Se pesa cada una de las mallas con el suelo que contengan. Se resta el peso de la malla correspondiente para obtener el peso del suelo retenido.

5. Se anota, en la hoja de registro, el peso de material retenido en cada una de las mallas. Se dejan cada fracción en su respectiva malla hasta verificar que la suma de los pesos parciales es igual al peso inicial de todo el material empleado, con una tolerancia del 1% por pérdida de operación.

#### **Método de cálculo.**

1. Para la fracción de la muestra retenida en la malla N° 4, se calculan los porcentajes del material retenido en cada malla respecto al peso seco del total de la muestra. Se anotan los resultados en la columna correspondiente al porcentaje retenido (lámina 5.1).

2. Para determinar los porcentajes acumulados del material que ha pasado por cada malla, se resta, del 100%, el porcentaje parcial retenido en la primera malla. A este valor se resta el de la segunda malla, y así sucesivamente.

3. Se procede en forma similar para la fracción que pasa la malla N° 4, refiriendo los porcentajes al peso seco de la porción empleada de material e incluyendo el peso seco de los finos separados por el lavado. Los porcentajes



de la muestra total se obtienen multiplicando los obtenidos en el paso anterior por el porcentaje del material menor que malla N° 4.

**4.** El peso del material de la fracción utilizada en el análisis por vía húmeda (Incluyendo la porción que se haya extraído en caso de haber sido necesario reducir el peso volumétrico de la suspensión) es el peso de material menor que la malla N° 200. En rigor, a este peso debe sustraerse el peso del defloculante empleado en el análisis por vía húmeda. El detalle para calcular la granulometría de esta fracción se da más adelante, en el procedimiento de prueba del hidrómetro. Para obtener los porcentajes acumulativos respecto a la parte de la muestra que pasa la malla N° 4, se multiplican los porcentajes acumulativos de la malla N° 200. Para obtener los porcentajes acumulativos totales, se multiplican los porcentajes obtenidos en la prueba del hidrómetro por el porcentaje acumulativo total de la malla N° 200.

**5.** Con los valores asentados en el registro del análisis granulométrico, se construye la gráfica de la lámina 5.2, para lo cual se colocan, en las abscisas los diámetros del grano, y en las ordenadas los porcentajes. Cuando el material contiene partículas mayores que la malla N° 4, se construyen dos curvas en la misma lámina, una con los porcentajes totales y otra con los porcentajes de la parte de la muestra que pasa la malla N° 4.

6. Para facilitar la clasificación del material en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, se registran los porcentajes de gravas, arenas y finos. Si el material es arenoso, el coeficiente de uniformidad,  $C_u$ , puede calcularse de la manera siguiente:

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

Donde  $D_{10}$  y  $D_{60}$  son los diámetros tales que, en peso, 10 y 60 por ciento de los granos son inferiores. Esos datos se anotan en el mismo registro. El coeficiente de curvatura,  $C_c$ , puede obtenerse en forma análoga.

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

### 2.3.7 Límites de consistencia o de Atterberg.

Las pruebas de Atterberg tienen por objeto determinar la plasticidad de la porción del material que pasa la malla N° 40 y que forma parte de un suelo. La plasticidad es una propiedad de las arcillas que les permite cambiar su forma sin agrietarse, cuando se le sujeta a una presión, reteniendo una nueva forma cuando desaparece el esfuerzo aplicado. La plasticidad se considera que se debe a la presencia de una película gelatinosa que rodea a los granos de arcilla. En algunos casos este material gelatinoso pierde su poder de adquirir agua

cuando ha sido secado totalmente; de aquí la necesidad de hacer las pruebas de Atterberg en materiales que se han secado sólo parcialmente para tomar por cuarteo la porción de muestra con que se van a verificar dichas pruebas.

Atterberg marcó las fronteras de los cuatro estados en que pueden presentarse los materiales muy finos; para ello estableció los límites siguientes: líquido, plástico y de contracción. El primero es la frontera entre el estado líquido y el plástico; el segundo, entre el plástico y el semisólido; el tercero separa el estado semisólido del sólido. A estos límites se les llama "Límites de consistencia".

#### **Determinación del límite líquido.**

El límite líquido (LL) es el contenido de agua (Expresado como porcentaje de peso seco) que debe tener un suelo re moldeado para que una muestra en que en que se haya practicado una ranura de dimensiones normales se cierre, sin resbalar en su apoyo, al someterla a un impacto de 25 golpes bien definidos.

El límite plástico (LP) es el contenido de agua con el que se rompe en fragmentos de tamaño definido un rollo de 3.2 mm de diámetro formado con un suelo al rodarlo, con la palma de la mano sobre una superficie plana.

El límite de contracción (LC) es el contenido de agua que saturaría a un suelo contraído por secado.

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se llama "Índice de plasticidad", y mide el intervalo de contenido de agua en el cual el suelo es plástico. El índice de contracción se define como la diferencia entre el límite plástico y de contracción.

En mecánica de suelos y, en particular, en los estudios de materiales para construcción de terraplenes de una cortina, sub-base y base de pavimentos etc., las pruebas de Atterberg, conjuntamente con la determinación granulométrica, son básicas para juzgar la calidad del material que se pretende usar. En los materiales pétreos para carpetas, se aplican a fin de conocer el grado de plasticidad de los finos que sería un indicio de la presencia de arcilla. Esta arcilla puede ser perjudicial principalmente en mezclas asfálticas, dependiendo de su actividad y de la cantidad y forma en que se presente el material.

### EQUIPO

- Dispositivo para determinar el límite líquido (copa de Casagrande), ranurador plano triangular, solera plana de un centímetro de espesor.

- Malla N° 40 (0.420 mm), espátulas, cápsula de porcelana, vidrios de reloj, piseta con agua destilada, mortero.
- Balanza con aproximación de 0.001 g y capacidad mínima de 100 g.
- Horno a temperatura constante de 110° C.
- Desecador.

Es preferible que al preparar el suelo para la prueba, se encuentre con su contenido de agua natural. El secado del material puede alterar sensiblemente los valores de los límites. Durante la preparación del material y su ensaye, no se debe permitir que el contenido de agua del suelo baje más allá del límite plástico o de su contenido natural. Para poder establecer correlaciones válidas entre los resultados obtenidos, todos los límites y los contenidos de agua deben determinarse en el mismo material. No deben mezclarse suelos con diferentes características de plasticidad.

El procedimiento de separación de las partículas retenidas por la malla N° 40 se elige en función de su resistencia en estado seco. Se seca al horno una muestra húmeda de material y se presiona con los dedos. Si se desmorona fácilmente, el material es areno – limoso o limoso y se usa el método de separación en estado seco. En cambio, si la muestra ofrece una resistencia apreciable, el material es arcilloso y se requiere hacer la preparación con ayuda de agua.

### **Ajuste y verificación de la copa de Casagrande.**

El procedimiento indicado para este fin se describe a continuación:

1. En la copa del aparato se marca con lápiz una cruz en el centro de la huella que se forma al golpear contra la base.
  
2. Se da vuelta a la manija hasta que la copa se eleve a su mayor altura, utilizando una solera de un centímetro de espesor o el calibrador de un centímetro adosado al ranurador, se verifica que la distancia entre el punto de percusión y la base sea de un centímetro exactamente. De ser necesario, se aflojan los tornillos de fijación y se mueve el de ajuste hasta obtener la altura de caída requerida.
  
3. Periódicamente, y al usar un dispositivo por primera vez, se verificarán además los detalles siguientes:
  - La copa debe pesar 200 gr con una tolerancia de 20 g.
  - Los puntos de impacto, tanto en la base como en la copa, no deben estar gastados. Si la marca de la base tiene más de 0.1 mm de profundidad, ésta debe pulirse nuevamente.

- Los soportes de hule de la base no deben estar gastados al punto de que ésta se apoye en algunos de los tornillos de fijación. Es preferible que la base tenga solamente tres soportes de hule muy suave.
- Al dejar caer sobre la base un balín de acero de 2 g. con diámetro de 8 mm (5/16 pulg), desde una altura de 25.4 cm (10 pulgadas). La altura de rebote debe estar comprendida entre 18.5 cm (7.3 pulg.) y 21 cm (8.3 pulg.).
- En los últimos 10 grados de rotación de la manija, justamente antes de que la copa caiga sobre la base, la altura de la copa sobre ésta debe ser, prácticamente constante.
- Las dimensiones del ranurador deben verificarse; punta ( $2.0 \pm 0.1$  mm) y ancho de la parte superior de la ranura ( $11.0 \pm 0.2$  mm).

#### **Procedimiento de prueba para determinar el límite líquido.**

La prueba deberá realizarse en el cuarto húmedo para evitar el secado superficial de la muestra. Si no se cuenta con este cuarto, deberán tomarse las precauciones necesarias para reducir la evaporación. El proceso es:

- El suelo debe ser pasante de la malla 40, esta muestra secada previamente en el horno, desmenuzada y tamizada.
- La Copa Casagrande es de bronce y tiene una altura de caída de 1 cm sobre una base de caucho.

- Con la porción de la muestra se coloca en una bandeja de evaporación y se le agrega de 15 a 20 centímetros cúbicos de agua, la cual se vierte con mucho cuidado, observando un estado en que el suelo no este demasiado pastosa, tratando que quede homogénea, luego se coloca en la copa sin llenarla solo la tercera parte de modo que la altura de la parte más gruesa sea de 1 centímetro. Se traza un canal en el centro con el ranurador, se da golpes con el manubrio al ritmo de 2 revoluciones por segundo hasta que el canal se una en una longitud de media pulgada. Se anota el número de golpes que han sido necesarios para ello.
- Del sitio de la unión se coge una pequeña porción y se coloca en un recipiente para determinar su contenido de humedad, esto pesando la muestra antes y después de ser dejada 24 horas en el horno a 110°C.
- Se retira el material de la copa y se lo regresa a la bandeja de evaporación, se agregan unos 3 centímetros cúbicos de agua, se mezcla bien y se repite el procedimiento. De la misma manera se anota el número de golpes.
- En un papel semi logarítmico se grafica la humedad en porcentaje en la escala aritmética y el número de golpes en la escala logarítmica y se traza una recta. El límite líquido es el contenido de humedad que corresponde a la intercepción de la línea de escurrimiento con la de 25 golpes.



### **Determinación del límite plástico.**

Esta prueba se realiza simultáneamente a la anterior; el equipo adicional necesario es el siguiente:

#### Equipo:

- Placa de vidrio despulido de 15 X 15 cm, aproximadamente.
- Alambre de 3.2 mm (1/8 de pulgada).
- Placa de cerámica micro porosa.

Debe prepararse al mismo tiempo que el material para límite líquido.

### **Procedimiento para determinar el límite plástico.**

Se recomienda realizar esta prueba en un cuarto húmedo, especialmente si el material es limoso.

1. Se toma un centímetro cúbico de la muestra, aproximadamente. Si el material tiene un contenido de agua inicial excesivo, se rueda repetidamente sobre una placa de cerámica micro porosa (no yeso) en atmósfera seca hasta que tenga un contenido de agua próximo al límite plástico. Se regresa al cuarto húmedo.

**2.** Se rueda la pequeña muestra sobre una placa de vidrio ligeramente despulido, bajo la palma de la mano o la base del pulgar hasta formar un cilindro de 3.2 mm de diámetro y de 13 cm de largo aproximadamente, el diámetro del cilindro puede verificarse con un alambre de 3.2 mm (1/8 pulg) de diámetro.

**3.** Se pliega el cilindro de suelo, se amasa para que tome una forma elipsoidal y se vuelve a rodar. Se repite la operación tantas veces como sea necesario para que, al perder agua por evaporación, y llegar al diámetro de 3.2 mm, el cilindro se agriete y se rompa en segmentos de 1cm de largo, aproximadamente. En el caso de suelos orgánicos, el cilindro debe rodarse con cuidado para que no se rompa prematuramente. Para suelos muy plásticos, deberá ejercerse una presión considerable para reducir el diámetro del cilindro a 3.2 mm. Con frecuencia, estos suelos no se agrietan en el límite plástico.

**4.** Se ponen los pedazos en dos vidrios de reloj que se engrapan con su broche.

**5.** Se pesa en la balanza de 0.001 g y se registra este valor en la columna cápsula + muestra húmeda del cuadro correspondiente al límite plástico en la lámina 4.1; asimismo, se anota el número de la cápsula y su peso en la columna respectiva.

6. Se repiten los pasos 1a 4, con otra porción de la muestra, para comprobar la determinación anterior.

7. Las muestras se introducen en el horno durante 18 horas. Después se dejan enfriar en un desecador y se pesan. Se anotan los valores en la columna cápsula + suelo seco.

8. Con los datos anteriores, se calculan los contenidos de agua. Si la diferencia de los resultados no es mayor del 2%, se considera que el límite plástico (LP) es igual al promedio, redondeado al entero más cercano. En caso contrario, se repite la determinación. La tolerancia podrá ser ligeramente mayor para suelos cuyo límite plástico sea inferior a 20.

### **Determinación del Índice Plástico.**

Una vez determinado la los limites tanto liquido como plástico, se encuentra el IP que es el índice plástico que nos ayuda a la clasificación del suelo.

$$IP = Wl - Wp$$

### 2.3.8 Compactación.

Se llama compactación al proceso de aumento rápido del peso volumétrico de un suelo, mediante la aplicación de cargas transitorias de corta duración. La

compactación permite aumentar la resistencia y reducir la deformabilidad, la permeabilidad y la susceptibilidad a la erosión de los suelos por el agua. Se sabe que, para una energía de compactación dada, el máximo peso volumétrico seco del suelo compactado se obtiene para ciertos contenidos de agua, llamado "contenido de agua óptimo".

La función de las pruebas de compactación de laboratorio es permitir la especificación racional y el control de los trabajos de campo, mediante el estudio de las propiedades mecánicas de los suelos compactados. Los procedimientos de laboratorio deben por lo tanto, permitir reproducir las condiciones de campo, principalmente el mecanismo y la energía de compactación.

#### 2.3.8.1 Prueba proctor estándar.

Consiste en compactar, en un molde rígido metálico un cierto número de capas sucesivas de suelo con un determinado número de golpes, uniformemente distribuidos de un martillo con un peso, dimensiones y caída libre dados.

El objetivo es el de obtener el máximo peso volumétrico que puede alcanzar el material, así como su correspondiente humedad óptima.

La energía de compactación aplicada en la prueba Próctor Estándar resulta, en muchos casos, insuficiente si se consideran las condiciones de compactación de campo logradas con los equipos modernos; puede ser conveniente ajustarla a condiciones de campo, pasando, por ejemplo, a la prueba Próctor Modificada.

Las pruebas por impacto, (tipo Próctor) son, generalmente aceptables y tendientes a la especificación y verificación de la compactación en campo, en vista de que las diferencias entre los óptimos obtenidos con esta prueba y los de campo no son muy grandes y, generalmente, no dan lugar a errores mayores que los inevitables en las complejas condiciones de campo.

### Equipo

- Molde de 10.2 cm. de diámetro y 12.3 cm de altura, con extensión de 5 cm de altura. Con la altura indicada (12.3 cm), el molde tiene exactamente un litro de capacidad. En el procedimiento estándar, generalmente aceptado, el molde tiene una altura de 11.7 cm, correspondiente a 0.94 lt.
- Martillo de compactación manual de 2.5 kg de peso.
- Balanza con capacidad mínima de 10 kg, y precisión mínima de 5 g.
- Varios: Regla metálica para enrasar; malla No. 4, mortero y mano de mortero, cubierta de hule, cucharón, horno de secado, desecador, recipientes para determinar el contenido de agua, charola y espátula.

- En lugar de martillo de compactación manual, es aceptable emplear un martillo mecánico, a condiciones de que su diseño permita una buena repartición de los golpes en toda la superficie de la muestra. Los martillos mecánicos deben calibrarse periódicamente, por comparación con el dispositivo manual, empleando muestras de un material moderadamente plástico, con un contenido de agua vecino al contenido de agua óptimo. El peso volumétrico seco, obtenido con el martillo mecánico, no debe diferir más de 10 kg/m<sup>3</sup> del obtenido con el martillo manual.

#### **Preparación de la muestra.**

Del suelo que se recibió en el laboratorio, tómesese una cantidad suficiente del suelo que haya sido disgregado y cuarteado, y que, al pasar por la malla No. 4, dé un mínimo de 15 kg. 94

1. De la muestra que ha pasado por la malla No.4, se seca al aire una cantidad de suelo suficientemente grande para obtener 2.5 kg de suelo para la determinación de cada uno de los puntos de la curva de compactación. Se requiere un mínimo de cinco determinaciones, dos con contenido de agua inferiores al óptimo y dos con contenidos de agua superiores.
2. Se disgrega el suelo, con una mano de mortero cubierto de hule, cuidando de no romper granos individuales.

3. Se mezcla cada fracción de suelo (peso aprox. 2.5 kg) con suficiente agua para obtener el contenido de agua deseado; debe tomarse en cuenta el contenido de agua del material secado al aire. Esta operación puede hacerse con un atomizador.

4. Se almacena cada una de las mezclas en un recipiente de vidrio con tapa hermética para permitir que el contenido de agua sea uniforme en toda la mezcla. Si el material tiene baja plasticidad, deberá almacenarse durante 12 horas y si la plasticidad es alta, uno o dos días.

#### **Procedimiento.**

1. Se pesa el molde Próctor con su placa base.

2. Se acomoda el collarín de extensión sobre el molde.

3. Se coloca en el molde la tercera parte de una de las fracciones de suelo, aproximadamente. Se empareja la superficie con los dedos.

4. Se compacta esta capa con 25 golpes del martillo de 2.5 kg de peso, con altura de caída libre de 30 cm. Los golpes deberán distribuirse uniformemente sobre la superficie de la capa.

- 5.** Se repiten los pasos 3 y 4, con una segunda y tercera capa. La superficie de la tercera capa compactada deberá sobresalir 6 a 13 mm del borde del molde, dentro del collarín de extensión.
- 6.** Se quita con cuidado el collarín de extensión y se enrasa el suelo con una regla metálica. En caso de materiales plásticos, es conveniente aflojar el material en contacto con el collarín antes de quitar éste, para evitar que se desprendan trozos de suelo.
- 7.** Después de limpiar el cilindro exteriormente, se pesan el molde (incluyendo la placa base) y el suelo, con una precisión de 5 g. El valor obtenido se anota en el registro de cálculo, en la columna: Peso molde + suelo húmedo.
- 8.** Se desarma el molde para extraer fácilmente el material. Se hacen dos determinaciones de contenido de agua en dos muestras representativas, cada una con un peso aproximado de 100 g, una tomada en la parte superior del molde y la otra del fondo.
- 9.** Se repiten los pasos 2 a 8 para las cuatro fracciones restantes del suelo, preparadas como se indica en los pasos 3 y 4.
- 10.** Se dibuja la gráfica, al mismo tiempo, la curva de saturación completa, cuya ecuación es la siguiente:



$$\gamma_d = \frac{S_s}{1 + WS_s}$$

Dónde:

W: Contenido de agua.

Ss: Densidad de solidos del material

### **Prueba Próctor Modificada.**

El procedimiento es el mismo que el indicado para la prueba Próctor estándar, excepto que la energía de compactación es, en este caso, mayor; se aplica 25 golpes por capa, se coloca el suelo en 5 capas y se utiliza un martillo de 4.54 kg. (10 lb) que se deja caer desde 46 cm (18 pulg.) de altura.

#### 2.3.9 Prueba de permeabilidad.

El concepto permeabilidad se define como la mayor o menor facilidad con que el agua fluye a través del suelo.

La permeabilidad de un suelo puede ser determinada en el campo o bien en el laboratorio utilizando muestras alteradas o inalteradas. Los procedimientos empleados en laboratorio para determinar el coeficiente de permeabilidad pueden dividirse en directos e indirectos. Para el desarrollo de nuestro estudio se realiza el método directo del permeámetro de carga constante.

### 2.3.9.1 Permeámetro de carga constante.

El objetivo es determinar el coeficiente de permeabilidad en los suelos que varían de a cm/s.

El procedimiento consiste en someter a la muestra de suelo a un escurrimiento de agua bajo una carga constante. El coeficiente de permeabilidad se determina directamente, con base en la Ley de Darcy a partir del gasto observado, área de la sección transversal de la muestra, longitud, carga aplicada y temperatura del agua.

#### Equipo.

- Permeámetro de Lucita: 10 cm de diámetro interior y 20 cm de longitud, para arenas; 20 cm de diámetro interior y 1m de longitud para gravas, o mezcla de arena y grava.
- Dispositivo de abastecimiento.
- Termómetro y cronómetro.
- Pisón metálico de 4 cm de diámetro y 300 kg de peso.
- Balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Malla No. 100 (0.140mm), vernier y horno.

| COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD  |   |  |                  |  |  |                  |   |   |                   |   |                                  |                   |
|--|---|--|------------------|--|--|------------------|---|---|-------------------|---|----------------------------------|-------------------|
| K, en cm/seg (escala logarítmica)  |   |  |                  |  |  |                  |   |   |                   |   |                                  |                   |
|  | 10 <sup>2</sup>   | 10 <sup>4</sup>  | 10 <sup>6</sup>  | 10 <sup>1</sup>                            | 10 <sup>3</sup>  | 10 <sup>4</sup>  | 10 <sup>5</sup>   | 10 <sup>6</sup>   | 10 <sup>7</sup>   | 10 <sup>8</sup>   | 10 <sup>9</sup>                  |                   |
| Propiedades de drenaje   | BUENO   |  |                  |  |  |                  | MALO  |   |                   | PRACT. IMPERMEABLE  |                                  |                   |
| Aplicación en presas de tierra y diques.                                       | Secciones permeables de presas y diques.  |  |                  |  |  |                  | Secciones impermeables de presas y diques.  |   |                   |   |                                  |                   |
| Tipos de suelos.   | Grava limpia  | Arenas limpias.<br>Arenas limpias y mezclas de gravas.                         |                  |  | Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla morena (*) glacial, depósitos estratigráficos de arcilla, etc. |                  |   | Suelos impermeables, arcillas homogéneas a la intemperie. |                   |   |                                  |                   |
|  |   | Suelos impermeables modificados por los efectos de la vegetación e intemperie. |                  |  |  |                  |   |   |                   |   |                                  |                   |
| Determinación directa del coeficiente de permeabilidad.                        | Prueba directa del suelo en su estado natural (prueba de bombeo). Segura si se hace correctamente. Se requiere bastante experiencia.      |  |                  |  |  |                  |   |   |                   |   |                                  |                   |
|  | Permeámetro de carga constante. Se requiere poca experiencia.   |  |                  | Permeámetro de Carga Variable              |  |                  |   |   |                   |   |                                  |                   |
| Determinación indirecta del coeficiente de permeabilidad.                      |   |  |                  | Seguro<br>No se requiere mucha experiencia |  |                  | Inseguro<br>Se requiere mucha experiencia   |   |                   | Realmente Seguro<br>Se requiere mucha experiencia   |                                  |                   |
|  | Cálculo por medio de la distribución del tamaño del grano (vg. form. de Hazen) Aplicables solo en arenas y gravas limpias y sin cohesión. |  |                  |  |  |                  |   |   |                   | Cálculo por medio de pruebas de consolidación. Requiere equipo costoso de laboratorio. Requiere mucha experiencia |                                  |                   |
|  |   |  |                  |  |  |                  | Prueba de capilaridad horizontal<br>Se requiere poca experiencia. Útil para pruebas rápidas de campo. |   |                   |   |                                  |                   |
|  | C10 <sup>6</sup>  | C10 <sup>5</sup>   | C10 <sup>4</sup> | C10 <sup>3</sup>                           | C10 <sup>2</sup>   | C10 <sup>1</sup> | C10 <sup>0</sup>  | C10 <sup>-1</sup>   | C10 <sup>-2</sup> | C10 <sup>-3</sup>   | C10 <sup>-4</sup>                | C10 <sup>-5</sup> |
| (*) Terreno de acarreo por ventisquero – Cuadro de E. Casagrande y R.E. Fadum. |   |  |                  |  |  |                  |   |   |                   |   | K, en m/año (escala logarítmica) |                   |

**Figura 2.30.** Coeficientes de Permeabilidad (E. Casagrande).

**Fuente:** Braja M. Das.

## PREPARACION DE LA MUESTRA

- Se mide el diámetro promedio del permeámetro y se determina su área transversal.
- Se coloca la malla en el extremo inferior del permeámetro y se pesa este conjunto. Se registra su valor, así como el número de permeámetro, en el renglón respectivo.
- El material seco se coloca en capas, las cuales deben apisonarse, a fin de que la muestra quede uniformemente compactada en todo su espesor. Mediante ensayos preliminares de compactación, se tratará de hallar el espesor de las capas, así como el número y la intensidad de los golpes requeridos para que el espécimen tenga la misma relación de vacíos que el suelo "in situ".

- Se pesa el permeámetro con la muestra compactada; este peso menos el de la tara, representa el peso de la muestra seca, el cual se anota en el renglón respectivo, así como la longitud (L) total de la muestra.
- Se satura la probeta por capilaridad sumergiéndola lentamente en un recipiente con agua y procurando que el nivel de la línea de saturación quede arriba del nivel de agua en el recipiente, con el objeto de que la saturación se efectúe exclusivamente por capilaridad y la expulsión del aire de la muestra sea más efectiva. Una vez saturada la muestra, se permite que el agua del recipiente quede arriba del nivel superior de la muestra y se llena el permeámetro hasta que se derrame. Inmediatamente, se coloca el permeámetro en posición de prueba, conectándolo con el sistema de abastecimiento.

### PROCEDIMIENTO

1. Se cierra la llave 2 y se llena la bureta por la parte superior, se ajusta entonces la altura de la parte inferior del tubo más largo para dar a la muestra el gradiente hidráulico “i” escogido. El gradiente está dado por el cociente de la carga “h” entre la longitud de la muestra “L”.

El gradiente que se aplica no debe superar al crítico la cual se debe colocar un disco poroso en la parte superior de la muestra.

2. Se cierra la llave 1 y se abre la 2, dejando conectada a la atmósfera la vena más larga. Se deja escurrir el agua durante 15 min, a fin de establecer el régimen.

3. Transcurrido este tiempo, se deja salir el agua hasta llegar a una marca conocida. Se cierra entonces la llave 2.

4. Simultáneamente, se abre la llave 2 y se pone en marcha el cronómetro el cual se detiene al pasar el nivel de agua de la bureta por otra marca conocida.

El tiempo transcurrido, en segundos se anota en la última columna de la tabla de valores, así como la temperatura y el volumen obtenido por diferencia de lectura en la bureta calibrada.

### CALCULOS

$$K = \frac{VL}{Aht}$$

Dónde:

V: Volumen de agua medido en centímetros cúbicos

L: Longitud de la muestra (cm)

A: Área de la sección transversal del espécimen (cm<sup>2</sup>)

h: Carga bajo la cual se produce la filtración (cm)

t: Tiempo en que se efectuó la prueba en segundos.

El valor del coeficiente de permeabilidad a la temperatura de 20° C, se obtiene mediante la expresión:

$$K_{20=K_T} \frac{U_T}{U_{20}}$$

El valor del coeficiente de permeabilidad a la temperatura de 20° C, se obtiene mediante la expresión:

$$e = \frac{V_V}{V_S} = \frac{V_t S_s - W_s}{W_s}$$

Dónde:

Vv: Volumen de vacios

Vs: Volumen de solidos

Vt: Volumen total

Ss: Densidad de solidos

Ws: Peso de solidos

Cuando el material es grava o mezcla de grava y arena, el procedimiento y cálculo son exactamente iguales a los expuestos, con la diferencia de que se usa un permeámetro de dimensiones mayores, apropiado al tamaño de la grava.

Para simplificar el tamaño los cálculos, se puede utilizar el nomograma de permeabilidad para el método de carga constante.

#### 2.3.10 Pruebas de compresión triaxial.

Las pruebas de compresión triaxial permiten determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia de los suelos. Estas pruebas consisten en aplicar presiones laterales y axiales diferentes de un espécimen cilíndrico, y estudiar su comportamiento.

Las pruebas triaxiales usuales se realizan en dos etapas: consolidación y ruptura. La primera consiste, generalmente, en aplicar a un espécimen cilíndrico una presión hidrostática (consolidación isotrópica); en ocasiones, simultáneamente se aplica una carga o descarga vertical (consolidación anisotrópica). Durante la segunda etapa, el espécimen se lleva a la falla por carga (prueba de compresión) o descarga vertical (prueba de extensión), manteniendo constante la presión confinante.

Las pruebas triaxiales se clasifican en función de las condiciones de drenaje durante las dos etapas de la prueba. Las pruebas más usuales son:

1. No consolidada - No drenada (Prueba rápida), en ella se impide el drenaje durante las dos etapas de la prueba.

**2. Consolidadas - No drenadas (Prueba rápida consolidada)**, en la que se permite el drenaje durante la primera etapa solamente.

**3. Consolidadas - drenadas (Prueba lenta)**. En ella se permite el drenaje durante toda la prueba, y no se dejan generar presiones de poro, aplicando las cargas con una velocidad adecuada durante la segunda etapa.

Generalmente, cada prueba se realiza con tres o cuatro especímenes bajo presiones confinantes distintas. La representación de los resultados en un diagrama de Mohr está constituida por una serie de círculos, cuya envolvente permite obtener los parámetros del material estudiado en el intervalo de esfuerzos considerado.

Las pruebas Consolidadas-No drenadas (Prueba rápida consolidada), se realizan generalmente saturando previamente la muestra: se reproduce en esta forma la inmersión de la estructura o del estrato estudiado.

En muchas aplicaciones, se han encontrado correlaciones satisfactorias entre las pruebas de laboratorio y las observaciones de campo. Para que exista tal correlación es de suma importancia elegir para el estudio en el laboratorio el tipo de prueba que mejor represente las condiciones que determinan la resistencia en el campo.



La prueba No consolidada - No drenada (Rápida) permite determinar la resistencia de una arcilla saturada sometida a carga o descargas aplicadas a una velocidad tal que no haya disipación de las presiones de poro generadas. Esta prueba se presta, por tanto, al estudio de la estabilidad al final de la construcción.

La prueba Consolidada drenada (Lenta) permite por el contrario, determinar la resistencia después de la disipación de la presión de poro, lo que corresponde para suelos cohesivos a la estabilidad a largo plazo en el campo.

La prueba consolidada - no drenada (Rápida consolidada), es la más adecuada para determinar la resistencia de suelos consolidados sometidos a cargas rápidas, como en el caso de vaciado rápido de una presa o de sismos.

Dentro de sus objetivos están:

- Obtener los parámetros: cohesión y ángulo de fricción interna de los suelos.
- Interpretar correctamente los esfuerzos en el círculo de Mohr.
- Interpretar la curva esfuerzo-deformación.

## EQUIPO

Sistema de carga: La etapa de consolidación de una prueba triaxial se realiza en un banco de consolidación. La ruptura puede llevarse a cabo en este mismo banco, aplicando las cargas por medio de pesas (control de carga) o en una máquina de compresión que permita aplicar al espécimen una velocidad de deformación constante (control de deformación). El uso de un sistema de control de carga o de deformación depende de la finalidad de la prueba. Es conveniente que la máquina de compresión empleada tenga un amplio intervalo de velocidad de deformación y que dé una presión que no sea inferior al 1% de la resistencia medida.

Cámaras triaxiales: Las cámaras triaxiales más usuales están constituidas por una base, una tapa y un cilindro transparente, generalmente de lucita. Es conveniente que el cilindro de lucita se ajuste a la base por medio de un empaque que selle lateralmente, no en la parte inferior. La carga se transmite al espécimen por medio de un vástago que se desliza a través de la tapa de la cámara.

La fricción que actúa sobre el vástago reduce la carga transmitida efectivamente al espécimen, especialmente si éste no se deforma simétricamente. El fluido confinante más apropiado para realizar pruebas triaxiales.

El pedestal y el cabezal de la probeta deben construirse con un material ligero y no corrosivo. Para las pruebas drenadas, es recomendable emplear discos porosos incrustados en el pedestal y el cabezal para permitir un montaje satisfactorio de la probeta.

El espécimen se aísla del fluido confinante con una membrana de hule, la cual debe ser prácticamente impermeable y no debe interferir en forma apreciable con la resistencia de la probeta. En pruebas de larga duración, es imposible evitar que se presenten fugas a través de la membrana, pero éstas pueden reducirse superponiendo dos membranas. La colocación de la membrana debe hacerse con sumo cuidado para evitar que quede arrugada o que dañe a la probeta.

En el caso de pruebas drenadas en suelos blandos, es conveniente colocar discos de papel filtro entre la probeta y las piedras porosas, para evitar que éstas se obturen y para permitir la recuperación del espécimen.

### **Sistemas de aplicación de la presión confinante.**

Para pruebas de corta duración, es suficiente disponer de una línea de presión de aire, de un tanque de almacenamiento y de un recipiente de transmisión de

presión del aire al fluido confinante. Para presiones confinantes bajas, los manómetros de mercurio son los más precisos, pero dejan de ser prácticos para presiones altas; los manómetros de carátula de precisión son generalmente preferibles. Para pruebas de larga duración, es necesario disponer de un sistema de control de la presión confinante. Con este fin es posible emplear reguladores de presión neumáticos o celdas de presión constante.

Equipo para la preparación del espécimen.

#### Suelos cohesivos.

La preparación del espécimen a partir de muestras inalteradas es particularmente delicada en materiales blandos. El labrado puede realizarse en el torno, empleando un arco con alambre muy fino de acero plata, y el acabado con el mismo arco, o una regla rígida. En suelos compactos, el labrado es generalmente más fácil y puede realizarse en un torno similar con una cuchilla.

Los cabeceadores permiten dar a la probeta una altura adecuada en las distintas etapas de labrado. Esta operación debe realizarse empleando el arco de alambre para suelos blandos y una cuchilla para suelos compactos, para preparar probetas compactas se utiliza un molde partido. La compactación

debe hacerse por amasado para dar al material una estructura similar a la que se obtiene por compactación in situ. La medición de las dimensiones de la probeta debe hacerse con el calibrador Vernier con resorte de baja constante o un dispositivo especial con micrómetro de precisión.

### Suelos no cohesivos.

Las pruebas en estos suelos se realizan compactando el material por medio de un pisón de madera en un molde partido. Durante la operación, la membrana se mantiene pegada sobre las paredes del molde por medio del vacío. Las membranas usadas para este tipo de pruebas son generalmente de látex y tienen un espesor de 0.025 cm. Para nuestro ensayo utilizamos el método Triaxial Rápido (R) (UU)

#### 2.3.10.1 Prueba no consolidada- no drenada en suelos cohesivos.

La prueba puede realizarse empleando el sistema descrito. La ruptura puede llevarse a cabo aplicando incrementos de carga a una velocidad predeterminada (control de carga) o en una máquina de compresión que permita aplicar al espécimen una velocidad de deformación constante (control de deformación).

Este periodo de prueba no permite etapa alguna de consolidación de la muestra, impidiendo cualquier drenaje. Primero se aplica una presión hidrostática al espécimen y de inmediato se hace fallar el suelo con la aplicación rápida de la carga axial.

1. La probeta debidamente preparada, medida y pesada se coloca en la cámara. La cámara se cierra herméticamente.
2. Si la prueba se va a realizar con control de deformación, la cámara se instala en una máquina de compresión y el vástago se centra bajo el marco de carga, el cual se baja hasta que esté a punto de hacer contacto. Si se emplea control de carga, la cámara se coloca bajo el marco de carga de un banco de consolidación.
3. Se dispone un micrómetro en el soporte de la cámara, apoyado sobre el marco de carga, procurando que quede en posición vertical.
4. Se procede a llenar la cámara en la forma siguiente: estando cerradas las válvulas C y D , se incrementa la presión ligeramente en el tanque de control y se permite que el agua pase a la cámara abriendo las válvulas A y B, que escurra un momento por la B para desalojar el aire atrapado. Se cierran ambas válvulas. Después del llenado, el agua en el tanque de control debe encontrarse aproximadamente al mismo nivel que en la probeta; en caso

contrario, la diferencia de elevación debe medirse para poder aplicar la corrección correspondiente al valor medio de la presión confinante.

**5.** Se ajusta el regulador al valor de la presión confinante con la cual se va a ensayar el espécimen. Si la presión requerida es menor de 3.5 kg/cm<sup>2</sup>, y no se dispone de un manómetro mecánico de precisión suficiente, se conecta el sistema a un manómetro de mercurio abriendo la válvula D.

**6.** Se aplica la presión confinante a la probeta abriendo la válvula A. Si se emplea control de carga, al mismo tiempo que se abre la válvula A, se coloca una pesa en la ménsula del marco de carga para compensar el empuje vertical que actúa sobre el vástago. Se anota el valor inicial de la presión confinante  $\sigma_3$ .

**7.** Si se dispone de un sistema de reducción de fricción del vástago, se pone en marcha en ese momento.

**8.** Se procede a poner nuevamente en contacto el marco, el vástago y la cabeza de la probeta, y se vuelve a tomar la lectura del micrómetro. Esta operación, de realización delicada, es necesaria si la probeta está parcialmente saturada y se deforma apreciablemente al aplicar la presión confinante, pero puede, por lo general, omitirse en suelos saturados.

**9.** Se procede a la ruptura de la probeta. Si se emplea control de deformación, se fija la velocidad a la cual se va a someter el espécimen durante el ensaye, la que generalmente es de 1 mm/min. Se toman lecturas simultáneas de carga y deformación axial con la frecuencia necesaria para definir la curva deformación unitaria – esfuerzo. Las lecturas deben suspenderse cuando la deformación corresponda al 20% de la altura inicial. Si se emplea control de carga, se aplica un incremento cada minuto. Los primeros deben ser de aproximadamente 10% de la carga de falla estimada, y reducirse a la mitad o la cuarta parte de este valor al acercarse a la falla. Se dibuja una gráfica cargas aplicadas – lecturas del micrómetro conforme se obtienen los datos, para vigilar el desarrollo de la prueba y decidir si la magnitud de los incrementos es adecuada. Las lecturas deben hacerse inmediatamente antes de aplicar cada incremento sucesivo

**10.** Se cierra el regulador de presión y se abre la válvula C, anulando en esta forma la presión confinante. Se regresa el fluido confinante al tanque regulador abriendo la válvula B y aplicando un ligero vacío en la descarga, C. Se desarma la cámara.

**11.** Se seca cuidadosamente con una toalla de papel el exterior de la membrana, el cabezal y el pedestal de la probeta. Se desliza el aro – sello en el cabezal por encima del extremo de la membrana, la cual se enrolla hacia abajo descubriendo la probeta.



12. Se mide la altura final de la probeta,  $f h$ . Si existe un plano de falla definido, se mide su inclinación con un transportador. Se hace un croquis del espécimen deformado.

13. Se pesa la probeta en la misma cápsula en que se había pesado antes de la prueba.

14. Se introduce en el horno. Después de 18 horas se deja enfriar en un desecador y se vuelve a pesar.

15. Este procedimiento se repite por lo menos en cuatro probetas del material bajo estudio para definir la envolvente de Mohr.

### 2.3.11 Resultados obtenidos de los ensayos.

Todos los ensayos que se llevaron a cabo fueron en base a muestras extraídas de calicatas que se efectuaron en la zona donde se calculó la ubicación idónea de la presa.

**Tabla XXI.** Datos del suelo de Manglaralto.

| Ensayos                     | Resultados                             |                           |                |
|-----------------------------|--|---------------------------|----------------|
| Límites de Atterberg        | $Wl = 49.8\%$                          | $Wp = 29.48\%$            | $IP = 20.32\%$ |
| Granulometría               | Arena Mal graduada SP-OH-OL            |                           |                |
| Permeabilidad               | $k = 1.16 \times 10^{-6}$              |                           |                |
| Proctor y densidad relativa | Peso específico=18.5 KN/m <sup>3</sup> | Porcentaje de humedad=22% |                |
| Compresión Triaxial         | Cohesión= 0.5                          | Ángulo de fricción= 28°   |                |

**Fuente:** Autores, 2016.

## **2.4 Estudio de impacto ambiental.**

Para interpretar y predecir los efectos que causa la construcción y la operación de la presa en la comuna Manglaralto se realiza una descripción de actividades para luego asignar una valorización a través de matrices.

2.4.1 Descripción de actividades para la construcción y del mantenimiento y operación de la presa.

### Construcción:

- Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero
- Elaboración de la obra de toma
- Extracción del material de la zona
- Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero
- Compactación y armado del cuerpo de presa
- Elaboración del aliviadero

### Mantenimiento y Operación:

- Concentración de agua en el embalse

- Mantenimiento y limpieza del embalse
- Aumento de la vida silvestre
- Generación de vida acuática
- Recarga de agua subterránea por infiltración
- Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse
- Deportes acuáticos

#### 2.4.2 Valorización de impacto ambiental.

Al analizar los diferentes procesos a evaluar se generan las siguientes matrices de Leopold; Se define la Fase de construcción y operación de la presa de la siguiente forma:

##### Matriz Intensidad (Int)

El valor numérico de la matriz intensidad varía de 1-10 dependiendo del grado de cambio sufrido, siendo (10) el valor indicativo de mayor impacto, (1) el valor indicativo de muy bajo impacto y (0) para actividades de generen impactos muy leves o imperceptibles.

**Tabla XXII.** Matriz Intensidad para la etapa de construcción.

| ETAPA DE CONSTRUCCION |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|-----------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz de Intensidad  |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                     | Actividad   | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                       |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                     | Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero        | 8     | 3    | 1    | 1     | 7     | 0             | 3         | 8                        | 4                |
| 2                     | Elaboración de la obra de toma                                | 7     | 2    | 1    | 1     | 6     | 0             | 5         | 7                        | 4                |
| 3                     | Extracción del material de la zona                            | 10    | 3    | 1    | 1     | 7     | 0             | 4         | 8                        | 5                |
| 4                     | Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero | 6     | 2    | 1    | 1     | 6     | 0             | 5         | 6                        | 4                |
| 5                     | Compactación y armado del cuerpo de presa                     | 4     | 1    | 1    | 0     | 7     | 0             | 3         | 6                        | 4                |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XXIII.** Matriz Intensidad para la etapa de operación.

| ETAPA DE OPERACIÓN   |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|----------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz de Intensidad |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                    | Actividad                                       | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                      |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                    | Concentración de agua en el embalse             | 1     | 0    | 0    | 0     | 0     | 0             | 0         | 10                       | 8                |
| 2                    | Mantenimiento y limpieza del embalse            | 1     | 0    | 0    | 0     | 1     | 0             | 0         | 10                       | 9                |
| 3                    | Aumento de la vida silvestre                    | 0     | 1    | 0    | 1     | 2     | 3             | 5         | 6                        | 5                |
| 4                    | Generación de vida acuática                     | 0     | 4    | 1    | 0     | 1     | 5             | 2         | 6                        | 4                |
| 5                    | Recarga de agua subterránea por infiltración    | 4     | 1    | 3    | 0     | 0     | 3             | 0         | 8                        | 6                |
| 6                    | Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse | 1     | 0    | 2    | 0     | 0     | 4             | 5         | 10                       | 10               |
| 7                    | Deportes acuáticos                              | 1     | 5    | 2    | 0     | 4     | 3             | 4         | 10                       | 10               |

Fuente: Autores, 2016.

### Matriz Extensión (Ext).

El valor de la matriz extensión es de (10) para actividades que generen impactos regionales, (5) para impactos locales y (1) para impactos puntuales.

**Tabla XXIV. Matriz Extensión para la etapa de construcción.**

| ETAPA DE CONSTRUCCION |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|-----------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz de Extensión   |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                     | Actividad   | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                       |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                     | Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero        | 5     | 5    | 1    | 1     | 5     | 0             | 1         | 5                        | 5                |
| 2                     | Elaboración de la obra de toma                                | 5     | 5    | 1    | 1     | 5     | 0             | 1         | 5                        | 5                |
| 3                     | Extracción del material de la zona                            | 5     | 5    | 1    | 1     | 5     | 0             | 5         | 5                        | 5                |
| 4                     | Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero | 5     | 5    | 1    | 1     | 5     | 0             | 1         | 5                        | 5                |
| 5                     | Compactación y armado del cuerpo de presa                     | 5     | 5    | 1    | 1     | 5     | 0             | 5         | 5                        | 5                |
| 6                     | Elaboración del aliviadero                                    | 5     | 5    | 1    | 1     | 5     | 0             | 1         | 5                        | 5                |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XXV. Matriz Extensión para la etapa de operación.**

| ETAPA DE OPERACION  |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|---------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz de Extensión |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                   | Actividad                                       | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                     |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                   | Concentración de agua en el embalse             | 5     | 1    | 1    | 1     | 5     | 5             | 5         | 5                        | 5                |
| 2                   | Mantenimiento y limpieza del embalse            | 5     | 1    | 1    | 1     | 5     | 5             | 5         | 5                        | 5                |
| 3                   | Aumento de la vida silvestre                    | 10    | 1    | 1    | 1     | 5     | 5             | 5         | 5                        | 5                |
| 4                   | Generación de vida acuática                     | 10    | 1    | 1    | 1     | 5     | 5             | 5         | 5                        | 5                |
| 5                   | Recarga de agua subterránea por infiltración    | 5     | 1    | 1    | 1     | 5     | 5             | 5         | 5                        | 5                |
| 6                   | Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse | 5     | 1    | 1    | 1     | 5     | 5             | 5         | 5                        | 5                |
| 7                   | Deportes acuáticos                              | 5     | 1    | 1    | 1     | 5     | 5             | 5         | 5                        | 5                |

Fuente: Autores, 2016.

### Matriz Duración (Dur).

Valor de duración (10) para actividades que generen impactos mayores a 10 años, (5) para impactos de 5 a 10 años, (1) para impactos menores a 5 años.

**Tabla XXVI. Matriz Duración para la etapa de construcción.**

| ETAPA DE CONSTRUCCION |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|-----------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz de Duración    |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                     | Actividad   | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                       |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                     | Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero        | 1     | 1    | 1    | 1     | 1     | 0             | 1         | 1                        | 1                |
| 2                     | Elaboración de la obra de toma                                | 1     | 1    | 1    | 1     | 1     | 0             | 1         | 1                        | 1                |
| 3                     | Extracción del material de la zona                            | 1     | 1    | 1    | 1     | 1     | 0             | 1         | 1                        | 1                |
| 4                     | Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero | 1     | 1    | 1    | 1     | 1     | 0             | 1         | 1                        | 1                |
| 5                     | Compactación y armado del cuerpo de presa                     | 1     | 1    | 1    | 1     | 1     | 0             | 1         | 1                        | 1                |
| 6                     | Elaboración del aliviadero                                    | 1     | 1    | 1    | 1     | 1     | 0             | 1         | 1                        | 1                |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XXVII. Matriz Duración para la etapa de operación.**

| ETAPA DE OPERACIÓN |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|--------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz de Duración |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                  | Actividad                                       | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                    |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                  | Concentración de agua en el embalse             | 5     | 1    | 1    | 1     | 1     | 5             | 5         | 10                       | 10               |
| 2                  | Mantenimiento y limpieza del embalse            | 5     | 1    | 1    | 1     | 1     | 5             | 5         | 10                       | 10               |
| 3                  | Aumento de la vida silvestre                    | 5     | 1    | 1    | 1     | 1     | 5             | 5         | 10                       | 10               |
| 4                  | Generación de vida acuática                     | 5     | 1    | 1    | 1     | 1     | 5             | 5         | 10                       | 10               |
| 5                  | Recarga de agua subterránea por infiltración    | 5     | 1    | 1    | 1     | 1     | 5             | 5         | 10                       | 10               |
| 6                  | Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse | 5     | 1    | 1    | 1     | 1     | 5             | 5         | 10                       | 10               |
| 7                  | Deportes acuáticos                              | 5     | 1    | 1    | 1     | 1     | 5             | 5         | 10                       | 10               |

Fuente: Autores, 2016.

### Matriz de Bondad de Impacto o Signo (S).

El valor de impacto o signo es (-1) para actividades que generen impactos negativos y (+1) para actividades que generen impactos positivos.

**Tabla XXVIII. Matriz Signo para la etapa de construcción.**

| ETAPA DE CONSTRUCCION |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |   |
|-----------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|---|
| Matriz Signo          |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |   |
| #                     | Actividad   | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |   |
|                       |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |   |
| 1                     | Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero        | -1    | -1   | -1   | -1    | -1    | -1            | 0         | -1                       | 1                | 1 |
| 2                     | Elaboración de la obra de toma                                | -1    | -1   | -1   | -1    | -1    | -1            | 0         | -1                       | 1                | 1 |
| 3                     | Extracción del material de la zona                            | -1    | -1   | -1   | -1    | -1    | -1            | 0         | -1                       | 1                | 1 |
| 4                     | Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero | -1    | -1   | -1   | -1    | -1    | -1            | 0         | -1                       | 1                | 1 |
| 5                     | Compactación y armado del cuerpo de presa                     | -1    | -1   | -1   | -1    | -1    | -1            | 0         | -1                       | 1                | 1 |
| 6                     | Elaboración del aliviadero                                    | -1    | -1   | -1   | -1    | -1    | -1            | 0         | -1                       | 1                | 1 |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XXIX. Matriz Signo para la etapa de operación.**

| ETAPA DE OPERACIÓN |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|--------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz Signo       |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                  | Actividad                                       | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                    |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                  | Concentración de agua en el embalse             | 1     | 1    | 1    | 0     | 0     | 1             | 1         | 1                        | 1                |
| 2                  | Mantenimiento y limpieza del embalse            | 1     | 1    | 1    | 0     | -1    | 1             | 1         | 1                        | 1                |
| 3                  | Aumento de la vida silvestre                    | 1     | 1    | 1    | 0     | -1    | 1             | 1         | 1                        | 1                |
| 4                  | Generación de vida acuática                     | 1     | 1    | 0    | 0     | 0     | 1             | 1         | 1                        | 1                |
| 5                  | Recarga de agua subterránea por infiltración    | 1     | 1    | 1    | 0     | 0     | 1             | 1         | 1                        | 1                |
| 6                  | Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse | 0     | 1    | 0    | 0     | -1    | 1             | 1         | 1                        | 1                |
| 7                  | Deportes acuáticos                              | 0     | 0    | 0    | 0     | -1    | 1             | 1         | 1                        | 1                |

Fuente: Autores, 2016.

### Matriz Magnitud (M)

Es una matriz calculada, los valores numéricos de la matriz magnitud están dados por las matrices, intensidad, extensión, duración y bondad de impacto, y cada una multiplicada por un factor correspondiente a cada matriz.

**Tabla XXX.** Factores de construcción para el cálculo de la matriz magnitud.

| <b>Factores de Construcción</b> |     |
|---------------------------------|-----|
| Factor Intensidad (Fint.)       | 0.4 |
| Factor Extensión (Fext.)        | 0.3 |
| Factor Duración (Fdur.)         | 0.3 |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XXXI.** Factores de operación para el cálculo de la matriz magnitud.

| <b>Factores de Operación</b> |     |
|------------------------------|-----|
| Factor Intensidad (Fint.)    | 0.3 |
| Factor Extensión (Fext.)     | 0.2 |
| Factor Duración (Fdur.)      | 0.5 |

Fuente: Autores, 2016.

La matriz magnitud estará dada por la siguiente ecuación:

$$[M] = [\pm S] [Intensidad * Fint.] + [Extensión * Fext.] + [Duración * Fdur.] ]$$



**Tabla XXXII.** Matriz Magnitud para la etapa de construcción.

| ETAPA DE CONSTRUCCION |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|-----------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz Magnitud       |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                     | Actividad   | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                       |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                     | Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero        | -5    | -3   | -1   | -1    | -4.6  | 0             | -1.8      | 5                        | 3.4              |
| 2                     | Elaboración de la obra de toma                                | -4.6  | -2.6 | -1   | -1    | -4.2  | 0             | -2.6      | 4.6                      | 3.4              |
| 3                     | Extracción del material de la zona                            | -5.8  | -3   | -1   | -1    | -4.6  | 0             | -3.4      | 5                        | 3.8              |
| 4                     | Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero | -4.2  | -2.6 | -1   | -1    | -4.2  | 0             | -2.6      | 4.2                      | 3.4              |
| 5                     | Compactación y armado del cuerpo de presa                     | -3.4  | -2.2 | -1   | -0.6  | -4.6  | 0             | -3        | 4.2                      | 3.4              |
| 6                     | Elaboración del aliviadero                                    | -4.6  | -2.6 | -1   | -1    | -4.2  | 0             | -2.6      | 4.6                      | 3.4              |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XXXIII.** Matriz Magnitud para la etapa de operación.

| ETAPA DE OPERACION |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|--------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz Magnitud    |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                  | Actividad                                       | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                    |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                  | Concentración de agua en el embalse             | 3.8   | 0.7  | 0.7  | 0     | 0     | 3.5           | 3.5       | 9                        | 8.4              |
| 2                  | Mantenimiento y limpieza del embalse            | 3.8   | 0.7  | 0.7  | 0     | -1.8  | 3.5           | 3.5       | 9                        | 8.7              |
| 3                  | Aumento de la vida silvestre                    | 4.5   | 1    | 0.7  | 0     | -2.1  | 4.4           | 5         | 7.8                      | 7.5              |
| 4                  | Generación de vida acuática                     | 4.5   | 1.9  | 0    | 0     | 0     | 5             | 4.1       | 7.8                      | 7.2              |
| 5                  | Recarga de agua subterránea por infiltración    | 4.7   | 1    | 1.6  | 0     | 0     | 4.4           | 3.5       | 8.4                      | 7.8              |
| 6                  | Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse | 4.7   | 1    | 1.6  | 0     | 0     | 4.4           | 3.5       | 8.4                      | 7.8              |
| 7                  | Deportes acuáticos                              | 0     | 0    | 0    | 0     | -2.7  | 4.4           | 4.7       | 9                        | 9                |

Fuente: Autores, 2016.

### Matriz Reversibilidad (Rev).

El valor numérico de la matriz de reversibilidad es de (10) para actividades que generen impactos irreversibles, (8) para impactos reversibles a largo plazo, (5) para impactos parcialmente reversibles y (1) para impactos altamente reversibles.

**Tabla XXXIV.** Matriz de Reversibilidad para la etapa de construcción.

| ETAPA DE CONSTRUCCION |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|-----------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz Reversibilidad |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                     | Actividad   | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                       |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                     | Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero        | 5     | 8    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 8                        | 5                |
| 2                     | Elaboración de la obra de toma                                | 5     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 1         | 8                        | 5                |
| 3                     | Extracción del material de la zona                            | 5     | 8    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 8                        | 5                |
| 4                     | Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero | 5     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 1         | 8                        | 5                |
| 5                     | Compactación y armado del cuerpo de presa                     | 5     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 8                        | 5                |
| 6                     | Elaboración del aliviadero                                    | 5     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 1         | 8                        | 5                |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XXXV.** Matriz de Reversibilidad para la etapa de operación.

| ETAPA DE OPERACIÓN    |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|-----------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz Reversibilidad |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                     | Actividad                                       | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                       |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                     | Concentración de agua en el embalse             | 5     | 5    | 5    | 0     | 1     | 5             | 5         | 8                        | 8                |
| 2                     | Mantenimiento y limpieza del embalse            | 5     | 5    | 5    | 0     | 1     | 5             | 5         | 8                        | 8                |
| 3                     | Aumento de la vida silvestre                    | 5     | 5    | 5    | 0     | 1     | 5             | 5         | 8                        | 8                |
| 4                     | Generación de vida acuática                     | 5     | 5    | 5    | 0     | 1     | 5             | 5         | 8                        | 8                |
| 5                     | Recarga de agua subterránea por infiltración    | 5     | 5    | 5    | 0     | 1     | 5             | 5         | 8                        | 8                |
| 6                     | Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse | 5     | 5    | 5    | 0     | 1     | 5             | 5         | 8                        | 8                |
| 7                     | Deportes acuáticos                              | 5     | 5    | 5    | 0     | 1     | 5             | 5         | 8                        | 8                |

Fuente: Autores, 2016.

**Matriz de Riesgos (Rg)**

El valor numérico de la matriz de riesgos es de (10) para impactos que tienen una probabilidad de ocurrencia alta, (5) para impactos que tienen una probabilidad de ocurrencia media y (1) para impactos que tienen una probabilidad de ocurrencia baja.

**Tabla XXXVI.** Matriz de Riesgo para la etapa de construcción.

| ETAPA DE CONSTRUCCION |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|-----------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz De Riesgo      |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                     | Actividad   | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                       |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                     | Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero        | 10    | 5    | 5    | 1     | 5     | 0             | 5         | 1                        | 5                |
| 2                     | Elaboración de la obra de toma                                | 10    | 5    | 5    | 1     | 5     | 0             | 5         | 1                        | 5                |
| 3                     | Extracción del material de la zona                            | 10    | 5    | 5    | 1     | 5     | 0             | 5         | 1                        | 5                |
| 4                     | Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero | 10    | 5    | 5    | 1     | 5     | 0             | 5         | 1                        | 5                |
| 5                     | Compactación y armado del cuerpo de presa                     | 10    | 5    | 5    | 1     | 5     | 0             | 5         | 1                        | 5                |
| 6                     | Elaboración del aliviadero                                    | 10    | 5    | 5    | 1     | 5     | 0             | 5         | 1                        | 5                |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XXXVII.** Matriz de Riesgo para la etapa de operación.

| ETAPA DE OPERACIÓN |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|--------------------|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz De Riesgo   |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #                  | Actividad                                       | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|                    |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1                  | Concentración de agua en el embalse             | 1     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 10                       | 10               |
| 2                  | Mantenimiento y limpieza del embalse            | 1     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 10                       | 10               |
| 3                  | Aumento de la vida silvestre                    | 1     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 10                       | 10               |
| 4                  | Generación de vida acuática                     | 1     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 10                       | 10               |
| 5                  | Recarga de agua subterránea por infiltración    | 1     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 10                       | 10               |
| 6                  | Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse | 1     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 10                       | 10               |
| 7                  | Deportes acuáticos                              | 1     | 5    | 5    | 0     | 5     | 0             | 5         | 10                       | 10               |

Fuente: Autores, 2016.

### Matriz de Valoración de Impacto Ambiental (V.I.A.)

Es una matriz calculada, los valores numéricos de la matriz V.I.A. están dados por las matrices magnitud, reversibilidad y riesgo, y cada una multiplicado por un factor, el que se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla XXXVIII.** Factores de construcción para el cálculo de la matriz VIA.

| <b>Factores de Construcción</b> |     |
|---------------------------------|-----|
| Factor Magnitud (FM)            | 0.5 |
| Factor Reversibilidad (FRev)    | 0.2 |
| Factor Riesgo (FRg)             | 0.3 |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XXXIX.** Factores de operación para el cálculo de la matriz VIA.

| <b>Factores de Operación</b> |     |
|------------------------------|-----|
| Factor Magnitud (FM)         | 0.3 |
| Factor Reversibilidad (FRev) | 0.4 |
| Factor Riesgo (FRg)          | 0.3 |

Fuente: Autores, 2016.

La matriz V.I.A. estará dada por:

$$[VIA] = [Rev]^{(FRev)} * [Rg]^{(FRg)} * [[M]]^{(FM)}$$

Como se presenta a continuación:

**Tabla XL.** Matriz de valor de impacto ambiental para etapa de construcción.

| ETAPA DE CONSTRUCCION                       |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|---|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz de Valorización de impacto Ambiental |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #   | Actividad   | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|   |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1   | Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero        | 6.16  | 4.25 | 2.24 | 0.00  | 4.80  | 0.00          | 3.00      | 3.39                     | 4.12             |
| 2   | Elaboración de la obra de toma                                | 5.90  | 3.61 | 2.24 | 0.00  | 4.58  | 0.00          | 2.61      | 3.25                     | 4.12             |
| 3   | Extracción del material de la zona                            | 6.63  | 4.25 | 2.24 | 0.00  | 4.80  | 0.00          | 4.12      | 3.39                     | 4.36             |
| 4   | Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero | 5.64  | 3.61 | 2.24 | 0.00  | 4.58  | 0.00          | 2.61      | 3.11                     | 4.12             |
| 5   | Compactación y armado del cuerpo de presa                     | 5.08  | 3.32 | 2.24 | 0.00  | 4.80  | 0.00          | 3.87      | 3.11                     | 4.12             |
| 6   | Elaboración del aliviadero                                    | 5.90  | 3.61 | 2.24 | 0.00  | 4.58  | 0.00          | 2.61      | 3.25                     | 4.12             |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XLI.** Matriz de valor de impacto ambiental para la etapa de operación.

| ETAPA DE OPERACIÓN                          |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|---|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Matriz de Valorización de impacto Ambiental |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #   | Actividad                                       | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|   |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1   | Concentración de agua en el embalse             | 2.84  | 2.77 | 2.77 | 0.00  | 0.00  | 0.00          | 4.49      | 8.86                     | 8.68             |
| 2   | Mantenimiento y limpieza del embalse            | 2.84  | 2.77 | 2.77 | 0.00  | 1.93  | 0.00          | 4.49      | 8.86                     | 8.77             |
| 3   | Aumento de la vida silvestre                    | 2.99  | 3.09 | 2.77 | 0.00  | 2.02  | 0.00          | 5.00      | 8.49                     | 8.39             |
| 4   | Generación de vida acuática                     | 2.99  | 3.74 | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00          | 4.71      | 8.49                     | 8.29             |
| 5   | Recarga de agua subterránea por infiltración    | 3.03  | 3.09 | 3.55 | 0.00  | 0.00  | 0.00          | 4.49      | 8.68                     | 8.49             |
| 6   | Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse | 3.03  | 3.09 | 3.55 | 0.00  | 0.00  | 0.00          | 4.49      | 8.68                     | 8.49             |
| 7   | Deportes acuáticos                              | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 0.00  | 2.18  | 0.00          | 4.91      | 8.86                     | 8.86             |

Fuente: Autores, 2016.

Rango de Significancia de la Matriz de Valoración de Impacto Ambiental.

Indica el nivel de impacto que tendrán las actividades en cada uno de los componentes ambientales mostrados en las matrices, su valor numérico varía de 0 a 10, (0) significancia neutra (N), (1-4) significancia baja (B), (4-7) significancia media (M) y (7-10) significancia alta (A).

**Tabla XLII.** Matriz de rango de significancia para la etapa de construcción.

| ETAPA DE CONSTRUCCION                     |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|---|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Rango de significancia o Nivel de Impacto |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #   | Actividad   | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores Socioeconómicos |                  |
|   |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1   | Desbroce y limpieza del sitio de la presa y aliviadero        | M     | M    | B    | N     | M     | N             | B         | B                        | M                |
| 2   | Elaboración de la obra de toma                                | M     | B    | B    | N     | M     | N             | B         | B                        | M                |
| 3   | Extracción del material de la zona                            | M     | M    | B    | N     | M     | N             | M         | B                        | M                |
| 4   | Mejoramiento y replanteo en el sitio de la presa y aliviadero | M     | B    | B    | N     | M     | N             | B         | B                        | M                |
| 5   | Compactación y armado del cuerpo de presa                     | M     | B    | B    | N     | M     | N             | M         | B                        | M                |
| 6   | Elaboración del aliviadero                                    | M     | B    | B    | N     | M     | N             | B         | B                        | M                |

Fuente: Autores, 2016.

**Tabla XLIII.** Matriz de rango de significancia para la etapa de operación.

| ETAPA DE OPERACIÓN                        |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
|---|---|-------|------|------|-------|-------|---------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Rango de significancia o Nivel de Impacto |   |       |      |      |       |       |               |           |                          |                  |
| #   | Actividad                                       | Suelo | Agua |      | Aire  |       | Flora y Fauna |           | Factores SocioEconomicos |                  |
|   |   |       | SUP. | SUB. | Gases | Ruido | ACUATICO      | TERRESTRE | Gene. Empleo             | Bienestar Social |
| 1   | Concentración de agua en el embalse             | B     | B    | B    | N     | N     | N             | M         | A                        | A                |
| 2   | Mantenimiento y limpieza del embalse            | B     | B    | B    | N     | B     | N             | M         | A                        | A                |
| 3   | Aumento de la vida silvestre                    | B     | B    | B    | N     | B     | N             | M         | A                        | A                |
| 4   | Generación de vida acuática                     | B     | B    | N    | N     | N     | N             | M         | A                        | A                |
| 5   | Recarga de agua subterránea por infiltración    | B     | B    | B    | N     | N     | N             | M         | A                        | A                |
| 6   | Visitas turísticas en zonas aledañas al embalse | B     | B    | B    | N     | N     | N             | M         | A                        | A                |
| 7   | Deportes acuáticos                              | N     | N    | N    | N     | B     | N             | M         | A                        | A                |

Fuente: Autores, 2016.

Luego de detallar e interpretar el impacto causado por la construcción y operación de la presa a través del método de matrices de Leopold, promediando se ha determinado un grado de afectación en los recursos de la siguiente forma:

**Tabla XLIV.** Grado de afectación por recurso.

| RECURSOS                 | CONSTRUCCION | OPERACIÓN |
|--------------------------|--------------|-----------|
| Suelo                    | MEDIO        | BAJO      |
| Agua                     | BAJO         | BAJO      |
| Aire                     | MEDIO        | NULO      |
| Flora y Fauna            | BAJO         | MEDIO     |
| Factores Socioeconómicos | MEDIO        | ALTO      |

Fuente: Autores, 2016.



### 2.4.3 Plan de manejo ambiental en el embalse.

Los embalses reciben nutrientes procedentes de los afluentes y en mayor o menor medida, hay un aporte de materia orgánica que se va a ir depositando en el embalse, provocando su DBO a un aumento del consumo de oxígeno.

Al tiempo que se va “eliminando” el oxígeno en esta agua que va aguas abajo, acabará provocando problemas de oxidación de compuestos férricos, floración de bacterias de azufre o la modificación de temperatura.

La temperatura provoca una modificación en la flora de algas, patrones ecológicos en la fauna, etc. Para solucionar esto, en algunos embalses de forma artificial se inyecta oxígeno, aunque no es muy recomendable. En este caso el afluente del río es intermitente y además con la recarga del acuífero ubicado en esta zona la afectación por materia orgánica será mínima a comparación de ríos perennes.

Otro problema existente, es el de la sedimentación natural del río, ya que el embalse provoca el freno a la sedimentación natural al crear una barrera al flujo del agua. La existencia de una barrera así, provoca efectos de acumulación de azolve en el pie de la presa, para esto se debe determinar un tiempo prudencial para retirar el material y el sitio de acopio y posteriormente transportarlo a un relleno sanitario.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Pre-diseño de la presa y canal de descarga en Manglaralto.

Las presas se pueden clasificar de varias formas según el objeto que persiga la clasificación. Se conviene clasificar las presas según en tres aspectos: función, características hidráulicas y materiales empleados en su construcción.

Las presas se pueden clasificar según su función en que está destinada:

- Presas de embalse.
- Presas de derivación.
- Presas de retención.

Las presas de embalse se construyen para almacenar agua en época de abundancia y utilizarla en tiempo de escasez. Las presas de derivación se construyen normalmente para crear una carga que permita trasladar el agua a través de canales u otro tipo de sistemas, se utiliza este sistema para trasvase y riego. Las presas de retención se construyen para regular las crecidas y disminuir el efecto de tormentas y controlar inundaciones. Las presas pueden clasificarse según sus características hidráulicas:

- Presas de vertedero
- Presas de no vertedero

Donde las presas de vertedero pueden verter por la coronación, siendo estas de materiales no erosionables como hormigón, acero, etc. Las presas de no vertedero que son aquellas que han sido proyectadas para que no viertan en su coronación son construidas con material de tierra y escollera.

Debido a las características geológicas y topográficas del sitio de la presa elegido, un proyecto de presa debe ser realizado utilizando materiales compactados. Este tipo de presa se denomina presa de tierra, es decir se deben conseguir materiales de construcción en el sitio de presa o muy próximo a él. De acuerdo a la eficiencia a la maquinaria de excavación, transporte y compactación hace muy económico su etapa constructiva y desplaza virtualmente otros tipos de presas. La presa de tierra es la más común debido a que su construcción se utiliza materiales en estado natural. Además los requisitos de cimentación son menos rigurosos que otros tipos de presa. La predominación del empleo de la presa de tierra en embalse es debido al número de emplazamientos adecuados en la disminución de estructuras de hormigón, debido al gran desarrollo que han tenido los aprovechamientos hidráulicos, especialmente en regiones áridas, en donde es fundamental el almacenamiento de agua para riego.

### 3.1.1 Alternativas del pre diseño de presa

Teniendo en cuenta los anteriores criterios es posible formular 3 alternativas según el material del tipo de presa de tierra:

**Alternativa 1:** Presa homogénea.- Esto significa que toda la presa debe ser edificada con un mismo tipo de material compactado, preferiblemente de la zona, si es de muy buena consistencia y baja permeabilidad.

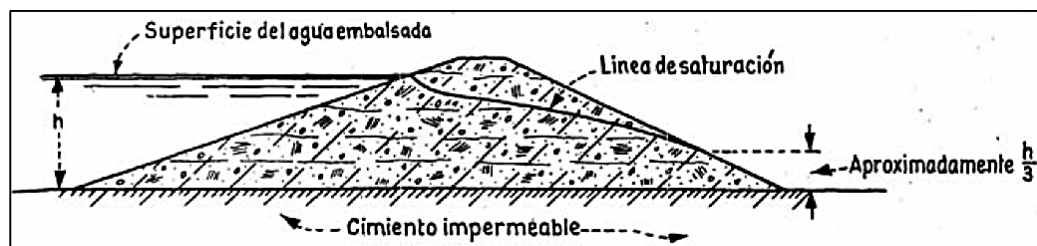


Figura 3.1. Presa homogénea.

Fuente: Design of small dams (Versión Español).

**Alternativa 2:** Presa Sonada.- En este caso la presa debe incluir espaldones de un material con una buena resistencia al cortante y un núcleo de suelo arcilloso impermeable.

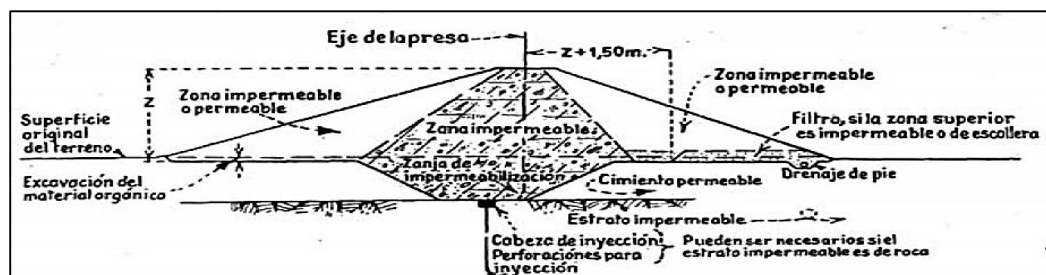
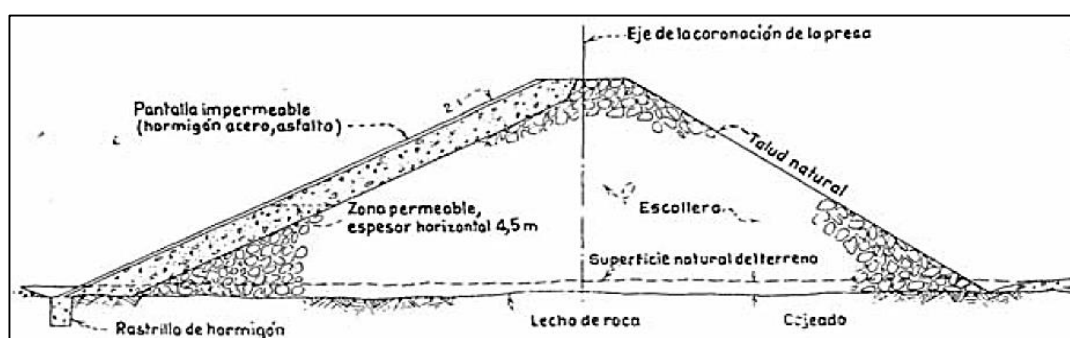


Figura 3.2. Presa Sonada.

Fuente: Design of small dams (Versión Español).

**Alternativa 3:** Presa enrocada.- el cuerpo de presa debe constar de taludes de enrocados o escolleras, en medio de los espaldones se debe construir un cuerpo de presa que tenga baja permeabilidad para que el agua embalsada no atraviese la presa, adicionalmente entre enrocado y terraplén de tierra se debe tener un sistema de Dren-filtro.



**Figura 3.3.** Presa de escollera o enrocada.  
Fuente: Design of small dams (Versión Español).

### 3.1.2 Ventajas y restricciones de alternativas de diseño.

#### **PRESA HOMOGENEA**

##### Ventajas

- Necesita menos material para conformar el cuerpo de la presa.
- Disponibilidad del material en las cercanías del sitio de construcción.
- Facilidad en la etapa constructiva por ser de un solo tipo de material.
- Rapidez en cuanto a su etapa constructiva.

##### Restricciones

- Ubicación cercana a la población.

## **PRESA SONADA**

### Ventajas

- Mayor factor de seguridad para embalsar.
- Su núcleo impermeable da estabilidad.
- Mayor estabilidad a sismo.
- Mayor facilidad para reparación en caso de filtración.

### Restricciones

- Ubicación cercana a la población.
- Mayor tiempo de ejecución.

## **PRESA ENROCADA**

### Ventajas

- Rapidez en cuanto a su etapa constructiva.
- Mayor estabilidad a sismo.

### Restricciones

- Ubicación cercana a la población.
- Mayor tiempo de ejecución.
- No existe roca disponible en la cercanía del sitio de presa.
- Su costo es mayor a las otras alternativas.

### 3.1.3 Elección de alternativas de diseño.

Para elegir la alternativa de diseño se establecen como punto de partida los siguientes criterios:

- Material de Préstamo
- Distancia a los préstamos
- Tiempo de construcción del terraplén
- Numero de soluciones geotécnicas
- Tiempo de ejecución de obra
- Costo

Los costos en base a lo estudiado y con referencia a experiencias laborales, las presas se estimaron con valores que sobrepasan el millón donde:

- Alternativa 1: \$ 1'600.000,00
- Alternativa 2: \$ 1'900.000,00
- Alternativa 3: \$ 2'300.000,00

Estos criterios serán valorizados y se elegirá un puntaje de 1 a 5, donde el menor valor signifique 1 y el mayor 5 como se presenta a continuación:

**Tabla XLV.** Elección de alternativas de pre diseño.

| ELECCION DE ALTERNATIVAS DE PREDISEÑO | Alternativa 1   | Alternativa 2 | Alternativa 3  |
|---------------------------------------|-----------------|---------------|----------------|
|                                       | Presa homogénea | Presa Sonada  | Presa Enrocada |
| Material de préstamo                  | 3               | 3             | 2              |
| Distancia a los préstamos             | 5               | 2             | 1              |
| Tiempo de construcción del terraplén  | 5               | 4             | 3              |
| Numero de soluciones geotécnicas      | 4               | 3             | 2              |
| Tiempo de ejecución de obra           | 5               | 4             | 3              |
| Costo                                 | 5               | 3             | 4              |
| <b>TOTAL</b>                          | 27              | 19            | 15             |

Fuente: Autores, 2016.

Como se observa en la tabla la alternativa número 1 es la más puntuada, es decir que de acuerdo a los criterios mencionados la presa homogénea es la seleccionada para el pre diseño.

#### 3.1.4 Pre diseño de la presa homogénea.

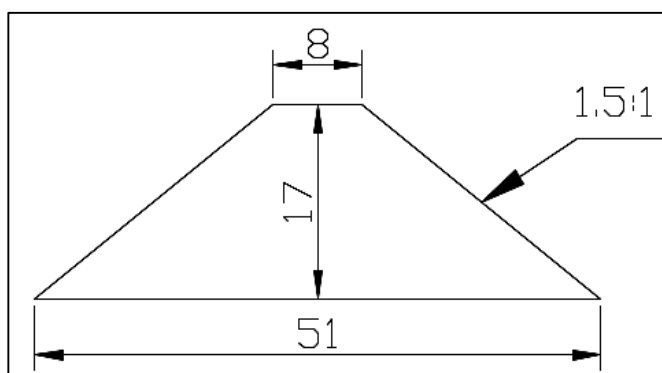
Para realizar este trabajo se parte de la información topográfica, geológica, geotécnica e hidrológica que son previamente efectuadas.

Dentro de los análisis efectuados se establece que el máximo nivel de embalse que se puede tener esta en la cota 30 ya que si fuese mayor la cota del embalse se desbordaría por lo que es necesaria la construcción de diques alrededor del embalse como solución complementaria en dichos sectores. Tomando la cota 30 como cota máxima para determinar el vaso de la presa, esta debe ser la cota de la corona del terraplén y de esta manera determinar que la altura máxima de embalse seria en la cota 27, es decir que se está dejando un borde libre de 3 metros.

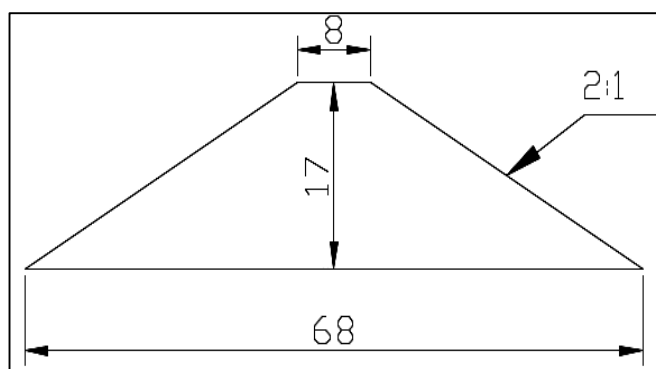


La anterior solución hidráulica se formula para permitir que el aliviadero o vertedor empiece a trabajar en la cota 27. De esta forma el borde libre de 3 metros de altura garantiza que en ningún caso la presa pueda ser desbordada y se genere una afectación, por esta razón el borde libre de la presa constituye un factor de seguridad hidráulico.

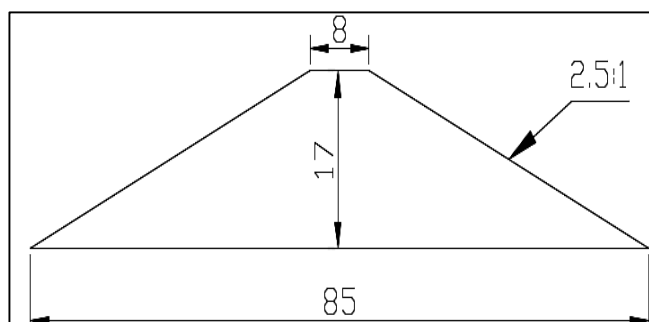
Se pone a disposición 3 formas de presas de acuerdo a su geometría y talud y están dadas de la siguiente manera:



**Figura 3.4.** Sección típica talud 1.5 a 1.  
**Fuente:** Autores, 2016.



**Figura 3.5.** Sección típica talud 2 a 1.  
**Fuente:** Autores, 2016.



**Figura 3.6.** Sección típica talud 2.5 a 1.

**Fuente:** Autores, 2016.

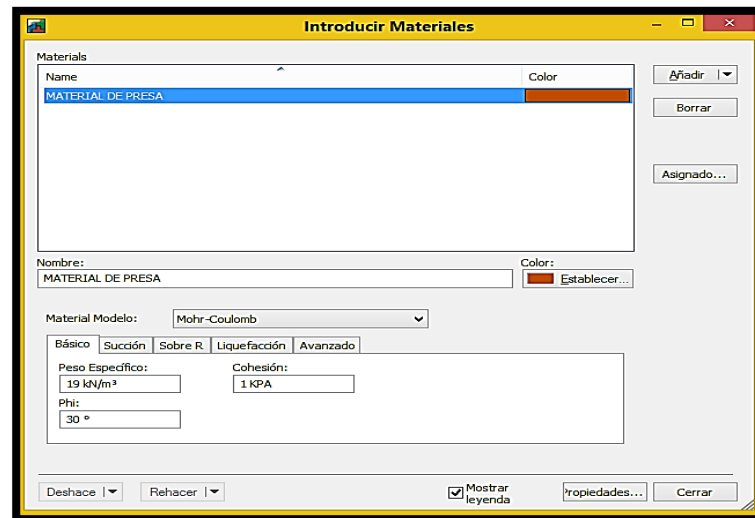
La cota más baja en el eje de presa es de 13 por ende la altura de la presa es de 17 metros y de acuerdo a recomendaciones en base a la experiencia del Dr. Miguel Ángel Chávez se tiene una corona de 8 metros y sus respectivos taludes.

Para el pre diseño de la presa se requiere de la estabilidad de taludes con el máximo factor de seguridad de acuerdo a su geometría y estudio geotécnico, para ello se utiliza el software Geoestudio 2012 para estabilidad de taludes. Existen algunos métodos para análisis de taludes con la que trabaja Geoestudio 2012, en este caso se trabajara con 3 métodos:

- Método de Mongenstern y Price.
- Método de Janbu.
- Método de Spencer.

Los datos requeridos por el programa Geoestudio de acuerdo al material de la presa son los siguientes:

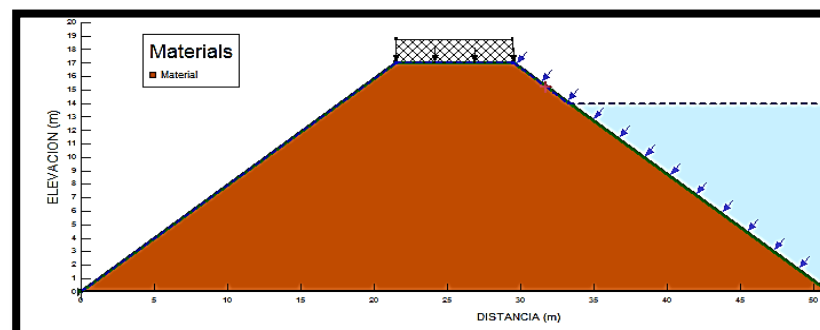
- Peso específico del material
- Cohesión
- Angulo de fricción



**Figura 3.7.** Datos del tipo de material de la presa.

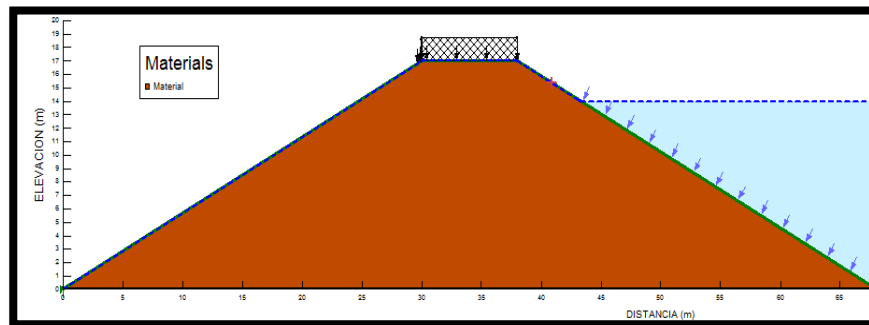
**Fuente:** Autores, 2016.

Una vez ingresada la sección típica de la presa se establece la carga por acción del peso propio de la presa, la línea piezométrica por efecto del agua embalsada y por las fuertes lluvias, y las cargas sísmicas como se presenta a continuación:

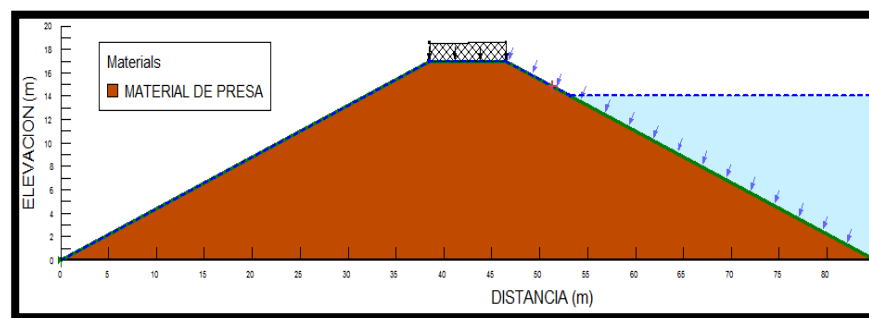


**Figura 3.8.** Línea piezométrica por efecto de embalse y fuertes lluvias, talud 1.5 a 1.

**Fuente:** Autores, 2016.

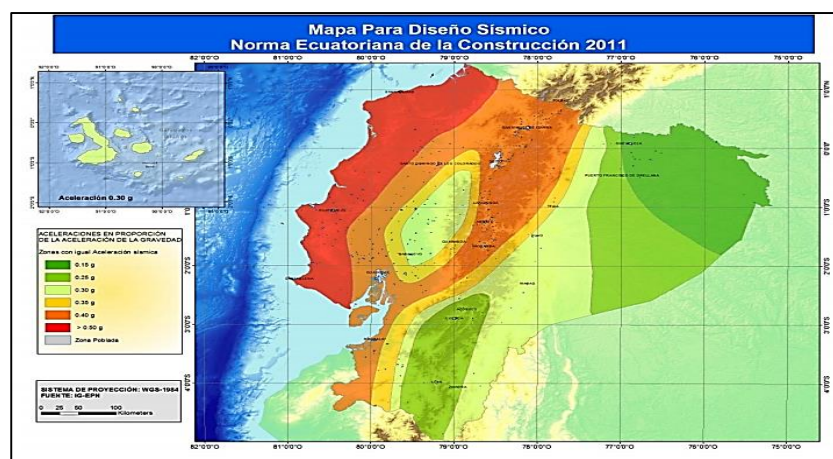


**Figura 3.9.** Línea piezométrica por efecto de embalse y fuertes lluvias, talud 2 a 1.  
**Fuente:** Autores, 2016.



**Figura 3.10.** Línea piezométrica por efecto de embalse y fuerte lluvia, talud 2.5 a 1.  
**Fuente:** Autores, 2016.

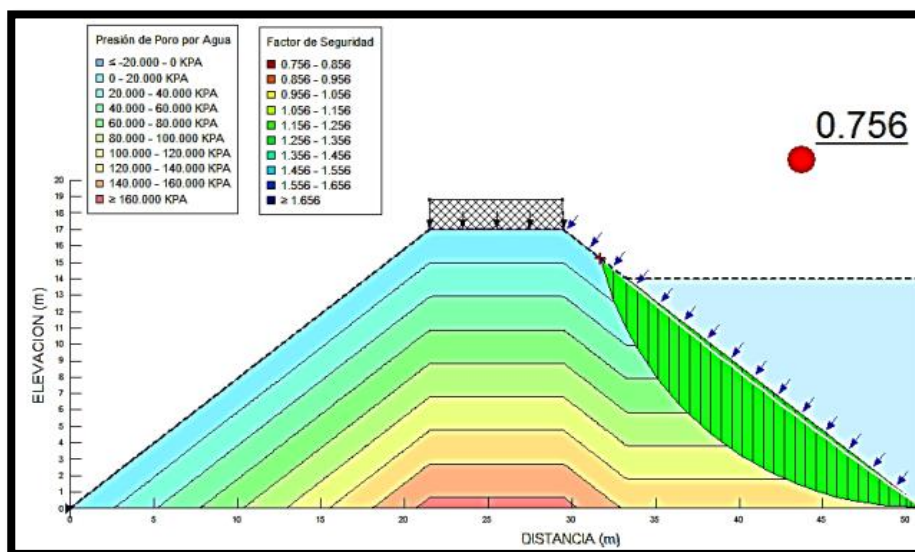
Las cargas sísmicas de acuerdo al mapa de zonificación de la NEC (Norma ecuatoriana de la construcción) son de 0.5.



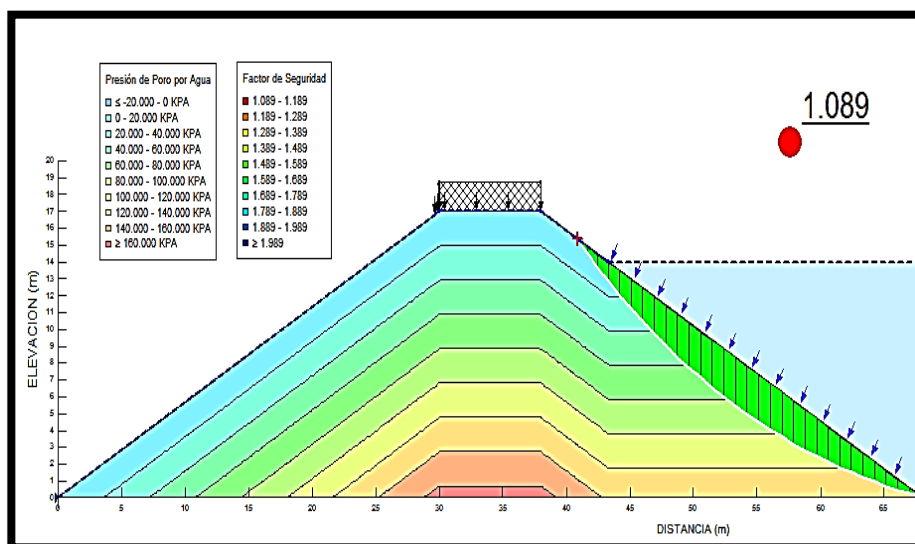
**Figura 3.11.** Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño y valor de factor de zona Z (NEC 2011).

**Fuente:** Autores, 2016

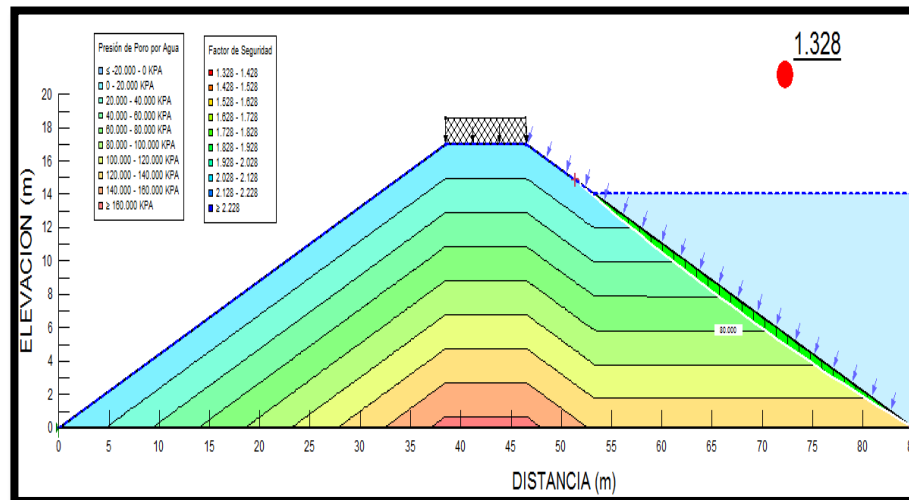
Al correr el programa se determina las presiones de poro del agua y el factor de seguridad más crítico mediante los 3 métodos antes mencionados, a continuación se presenta los gráficos con sus respectivas tablas:



**Figura 3.12.** Deslizamiento de material y factor de seguridad crítico del talud 1.5 a 1.  
Fuente: Autores, 2016.

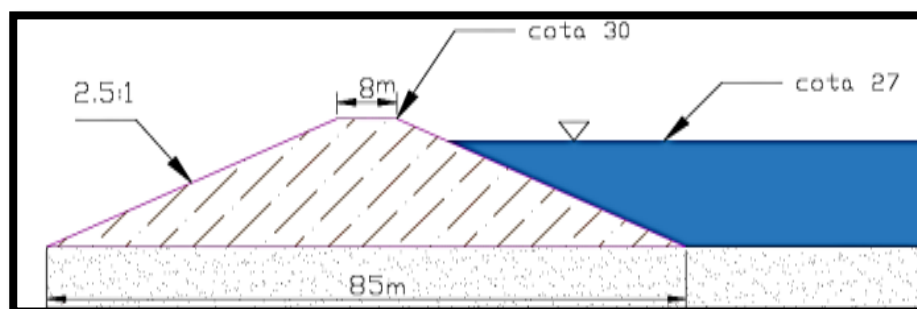


**Figura 3.13.** Deslizamiento del material y Factor de seguridad crítico del talud 2 a 1.  
Fuente: Autores, 2016.



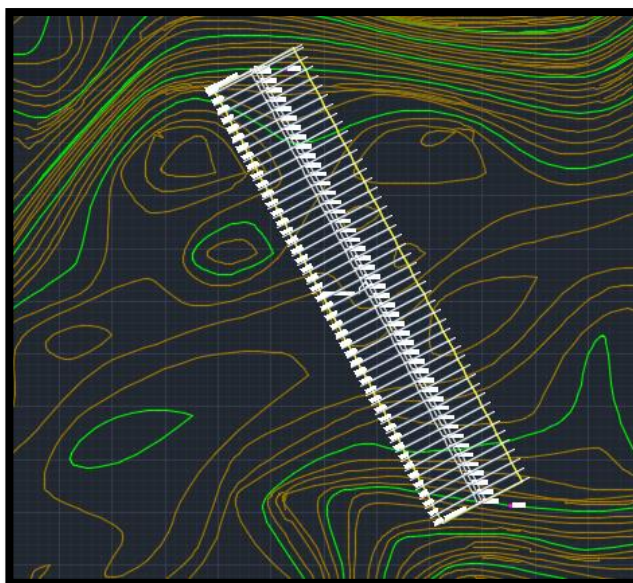
**Figura 3.14.** Deslizamiento del material y Factor de seguridad crítico del talud 2.5 a 1.  
**Fuente:** Autores, 2016.

El factor de seguridad crítico contra la falla del talud debe ser mayor a uno ( $FS > 1$ ), en este caso la sección de 2:1 y 2.5:1 tienen un factor de seguridad que cumple con lo establecido; En la opción 2 donde se obtiene un factor de 1.089 que para efectos de diseño se utilizaría material de mejoramiento en la zona de deslizamiento, por lo cual seleccionamos la tercer opción con un factor de 1.328 por mayor estabilidad y para mayor seguridad del pre diseño.

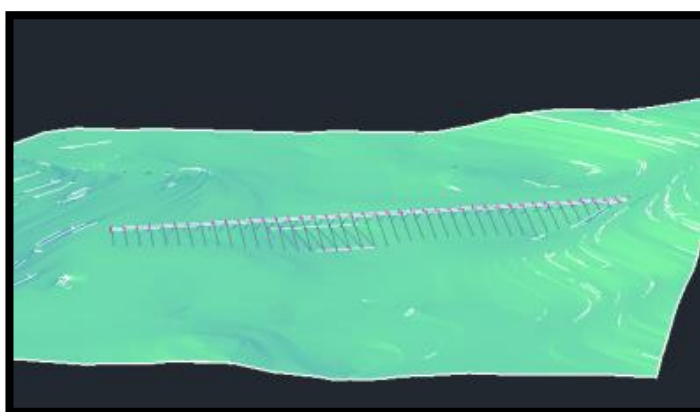


**Figura 3.15.** Sección del Pre diseño de Presa homogénea.  
**Fuente:** Autores, 2016.

Teniendo ya la sección típica de la presa se obtiene con el programa CIVIL 3D vistas de la presa ya prediseñada el perfil longitudinal y las secciones transversales de la presa para determinar los volúmenes del material del cuerpo de la presa. (Ver Anexos).



**Figura 3.16.** Corredor de la presa (Vista 2D).  
**Fuente:** Autores, 2016.



**Figura 3.17.** Corredor de la presa (Vista 3D).  
**Fuente:** Autores, 2016.

### 3.1.5 Prediseño de canal de descarga.

Se denomina vertedor cuando el líquido que descarga es efectuado por encima de un muro o placa. Si la descarga se realiza sobre una placa aguda, el vertedor se denomina pared delgada si por el contrario, el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, se denomina de pared gruesa. El punto más bajo de la pared en contacto con la lámina vertiente se conoce como cresta.

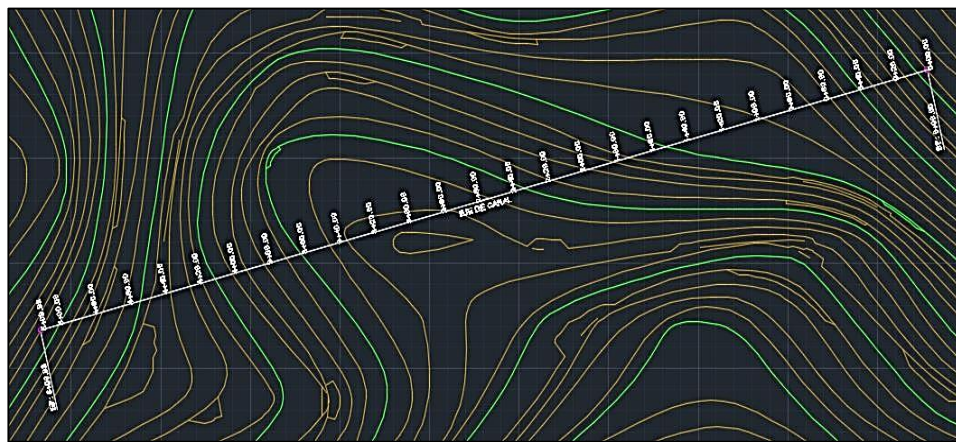
Las mediciones y datos requeridos para el diseño de vertederos dependen del nivel de diseño a ser considerado y las condiciones específicas que se encuentran en el sitio. Generalmente estos datos y mediciones son:

1. Datos topográficos.
2. Datos climatológicos.
3. Datos hidrológicos.
4. Datos geológicos y sismológicos
5. Alcance y requerimientos del proyecto
6. Capacidad de control de avenidas
7. Datos hidráulicos.
8. Datos estructurales
9. Datos de calidad del agua
10. Requerimientos especiales.



## 11. Condiciones aguas abajo.

Para efectos de pre diseño se realizara un canal de descarga de acuerdo al caudal de la cuenca de drenaje, esto sirve para determinar la sección del canal y los volúmenes de corte en la ladera del macizo rocoso. De acuerdo a la topografía se traza el eje de canal como se presenta a continuación:



**Figura 3.18.** Eje de canal de descarga.

**Fuente:** Autores, 2016.

**Tabla XLVI.** Alineamiento del Eje del Canal de descarga.

| Tabla de Alineamiento del eje del canal |          |               |                            |                            |
|---|----------|---------------|----------------------------|----------------------------|
| Linea                                   | Longitud | Orientación   | Punto inicial              | Punto final                |
| Eje de canal                            | 509,835  | S75°58'39.13" | (531477.7121,9796391.9233) | (530983.0703,9796268.3892) |

**Fuente:** Autores, 2016.

Para el pre diseño del canal de descarga tenemos los siguientes datos que con el texto guía de Ven Te Chow Hidráulica de Canales, se procedió a efectuar el pre diseño para conocer las medidas de excavación en el Macizo rocoso que lo contiene.

## CANALES NO EROSIONABLES

Son aquellos canales artificiales revestidos y construidos que pueden resistir la erosión de una buena manera. En el diseño de dichos canales, la velocidad permisible máxima y la fuerza tractiva permisible son factores que no inciden en el diseño. Los factores que se consideran en el diseño son: la clase del material que conforma el cuerpo del canal, la cual nos da el coeficiente de rugosidad, la velocidad mínima permisible, para evitar la deposición de sólidos como por ejemplo limos o basuras, la pendiente del fondo del canal y las pendientes laterales, el borde libre y la sección más eficiente ya sea determinada hidráulica o empíricamente.

Nótese, que desde el punto de vista práctico la sección óptima hidráulica no es necesariamente la más económica. En la práctica se deben considerar los siguientes aspectos:

- La optima sección hidráulica minimiza el área requerida para pasar un gasto dado; aunque a veces, el área de excavación necesaria para lograr el área de flujo requerido por la óptima sección hidráulica puede ser significativamente mayor si se considera la remoción del volumen sobrante.
- Con el material disponible en campo pueda que resulte imposible la construcción de una sección óptima.

- El costo de la excavación no solo depende del material removido, sino que depende de la facilidad con la que se llega al sitio de excavación y que tanto de material es removido producto de dicha acción.

Los taludes del canal son dependientes de las propiedades mecánicas. Desde un punto de vista práctico, los taludes deben ser los más pronunciados posibles ya que así se minimiza la cantidad de tierra.

En muchos casos la pendiente del canal debería ser considerada una variable debido a que depende de la topografía del terreno.

Debido al gran caudal que se obtiene en la cuenca, se optó por la realización de un canal no erosionable hecho de hormigón para que no se socave. El cálculo de las dimensiones de la sección para canales no erosionables incluye los siguientes pasos:

1. Recolectar toda la información necesaria, estimas  $n$  y seleccionar  $S$ .
2. Calcular el factor de la sección  $AR^{2/3}$  mediante la ecuación (1-2).

$$AR_h^{2/3} = \frac{nQ}{\phi\sqrt{S}} \quad (1-2)$$

$\Phi = 1.49$  en unidades ingleses y en 1 en unidades SI

3. Sustituir en la ecuación (1-2) las expresiones para  $A$  y  $R$  obtenidas en la Tabla 1 y hallar el  $y_n$ .
4. Si se necesita de sección hidráulica óptima, calcúlese con la Tabla 1.

5. Se verifica: a) la velocidad mínima permisible para agua que transporta sedimentos y para vegetación. b) el número de Froude.
6. Se deberá estimar: la altura requerida del revestimiento sobre la superficie del agua y el borde libre requerido.
7. Resuma sus resultados con un bosquejo dimensionado.

Con una pendiente de 0.0019(n) y un coeficiente de Manning de 0.014 debido a que es de material de hormigón se procede a calcular el factor de sección, el cual da como resultado 1038.24 ft<sup>3</sup>/s. Ahora se calcula mediante iteraciones el Yn teniendo en cuenta que se escoge una base de 45.67 pies y un factor z:

2

**Tabla XLVII.** Datos de iteración para encontrar el Yn.

| <b>yn</b> | <b>A</b> | <b>P</b> | <b>Rh<sup>2/3</sup></b> | <b>ARH<sup>2/3</sup></b> |
|-----------|----------|----------|-------------------------|--------------------------|
| 6         | 346      | 72,5     | 2,83                    | 980,84                   |
| 6,1       | 353      | 72,95    | 2,86                    | 1009,92                  |
| 6,2       | 360      | 73,4     | 2,89                    | 1039,41                  |

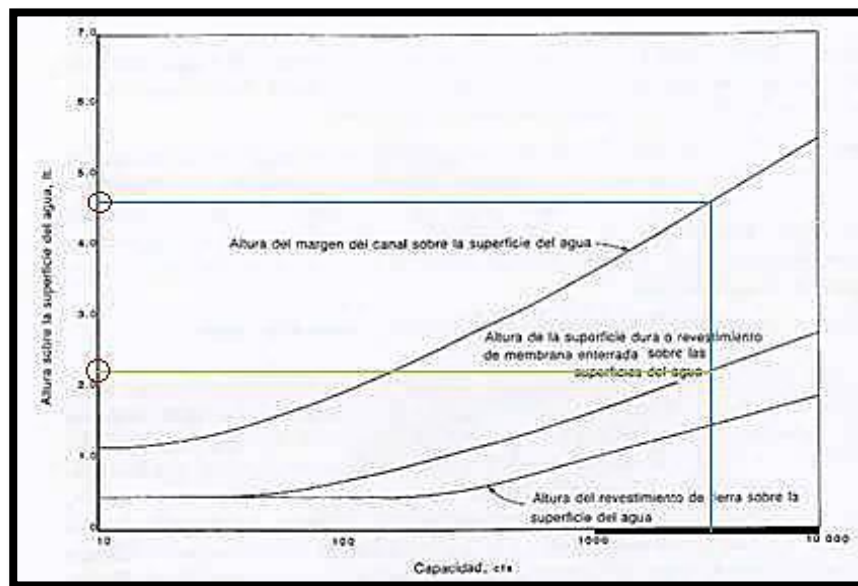
**Fuente:** Autores, 2016.

**Tabla XLVIII.** Resultados de Valores permisibles para el Yn Optimo.

|                      |        |
|----------------------|--------|
| <b>Yn optimo</b>     | 6,2    |
| <b>A</b>             | 66,58  |
| <b>P</b>             | 21,48  |
| <b>Rh</b>            | 3,1    |
| <b>T</b>             | 14,32  |
| <b>D</b>             | 4,65   |
| <b>Q</b>             | 4822,6 |
| <b>D</b>             | 5,11   |
| <b>V</b>             | 13,39  |
| <b>F</b>             | 1,044  |
| <b>FLUJO CRITICO</b> |        |

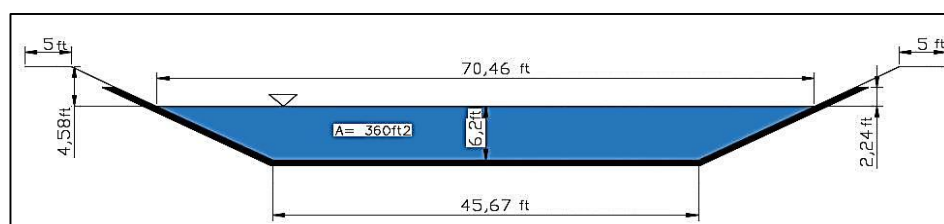
**Fuente:** Autores, 2016.

Como se puede observar el número de Froude sale mayor a 1, por lo cual nos encontramos en un régimen de flujo crítico. Para calcular el borde libre se procede a la siguiente tabla de la cual se obtiene los siguientes datos:



**Figura 3.19.** Curva con la cual se obtiene el borde libre.

**Fuente:** Ven Te Chow.



**Figura 3.20.** Sección del Canal de descarga.

**Fuente:** Autores, 2016.

Con esta sección procedemos a calcular el volumen de desalojo que se debe realizar en el Macizo rocoso para cumplir con el factor de seguridad de que el canal capte y transporte el agua en exceso del embalse.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES.

- 1 En base a los aspectos éticos morales y sociales todos los estudios realizados se determina que una presa de almacenamiento de agua como solución a la escasez en tiempo de sequía, es factible teniendo en cuenta que la extracción de agua subterránea a través de pozos para la dotación anual del líquido vital por habitante crece paulatinamente, al ser el almacenamiento de la presa de 18'873,201.94 millones de metros cúbicos excede la tasa de requerimiento de la población, aprovechando de esta manera la fuente no solo para potabilizarla sino para riego de cultivos.
- 2 El sitio de presa fue la más idónea de acuerdo a la topografía realizada desde el software Global Mapper, es decir en la parte más angosta donde el vaso de la presa alcanza su máximo volumen; de la misma forma el canal de descarga se ubicó en la cercanía de la presa ajustada a las condiciones topográficas.

- 3** La avenida de diseño dependiendo de las características y punto de descarga de cuenca de drenaje, alcanza un caudal de 136.65 m<sup>3</sup>/s mediante el método de Hidrograma Unitario de C.O. CLARK.
- 4** De acuerdo a los análisis de la muestra extraída en el campo se determinó que el suelo es una arena mal graduada, que contiene alto grado de plasticidad debido a que existe gran cantidad de arcilla, pero al ser un material cohesivo y de baja permeabilidad sirve para conformar el cuerpo de la presa y poder cumplir con el objetivo.
- 5** Se eligió la mejor alternativa del tipo de presa a través de diferentes criterios, entre ellas la más importante la disponibilidad del material para formar la presa.
- 6** Se demostró la estabilidad del talud de la presa con las secciones propuestas a través del factor de seguridad crítico.
- 7** Para evitar el desbordamiento de la presa se efectuó un diseño preliminar de un canal de descarga, donde se determina la sección y los volúmenes de corte en el sitio seleccionado.
- 8** Se estimó mediante matrices de impacto ambiental, el grado de afectación en la etapa de construcción y operación de la presa donde se determinó que el impacto en el Medio Biótico es bajo, en el Abiótico es medio y el Medio Humano es alto.
- 9** El presupuesto estimado para el modelo de presa homogénea esta en 1'634,341.19 dólares americanos.

## RECOMENDACIONES.

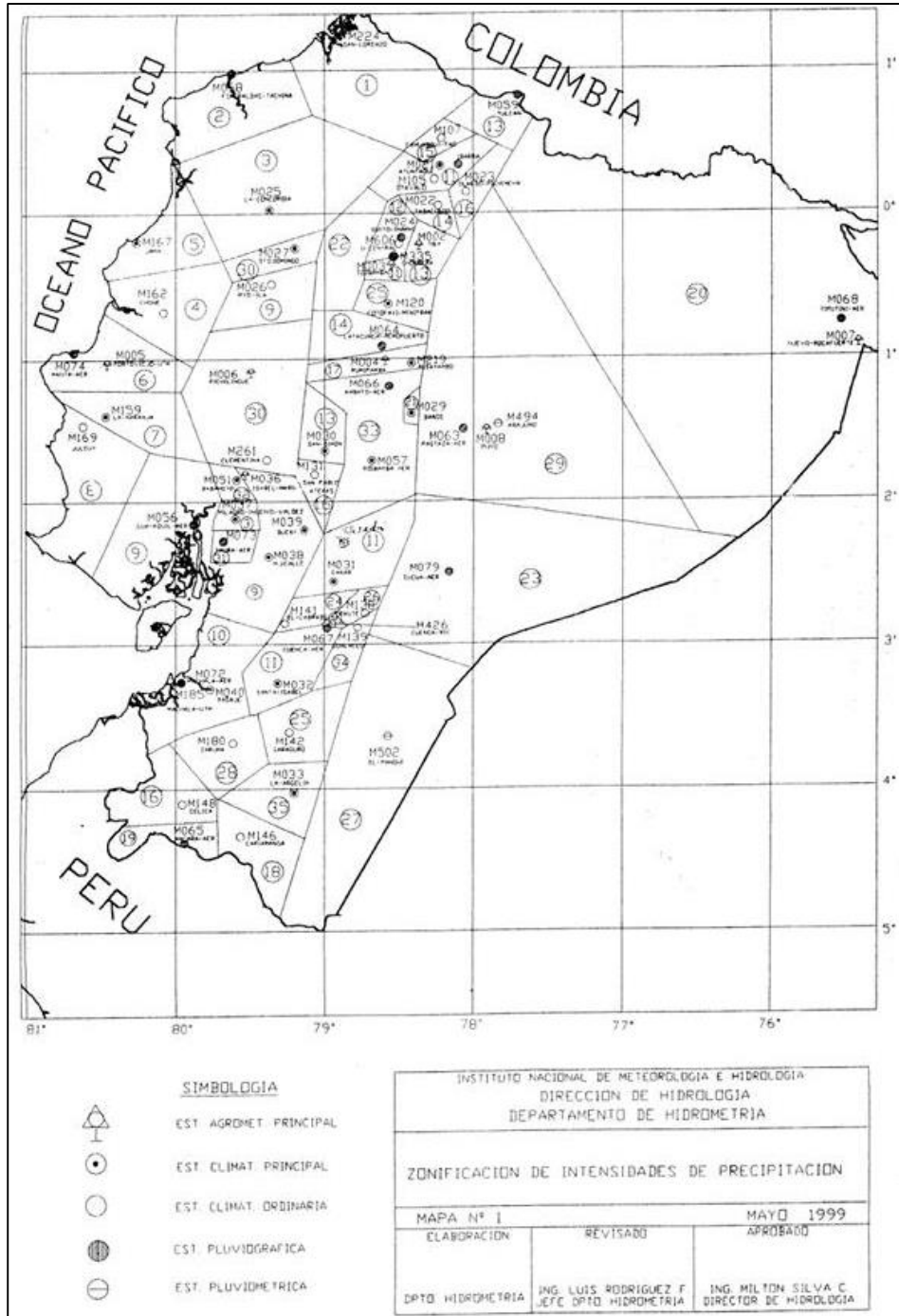
- 1 Para un posible diseño y construcción de este tipo de obra se recomienda un estudio topográfico que cuente con los equipos y personal calificado.
- 2 Al ser una obra que abarca una gran extensión se recomienda re diseñar la vía de acceso a Dos Mangas y re ubicar a la población que habita en la ribera del rio Manglaralto.
- 3 Estimando el tiempo de ejecución de la obra se recomienda desviar el cauce o realizar un trasvase, aunque el rio sea intermitente las intensidades de lluvia puede significar un gran problema.
- 4 Se recomienda mejorar el material que será parte del cuerpo de la presa con Cal y arena graduada para evitar el efecto de expansión de las arcillas al saturarse.
- 5 Generar una imagen positiva a la población mediante programas de concientización que demuestre los beneficios socioeconómicos para así evitar inconvenientes, durante y después de la construcción.



# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Guayaquil, F. S. (2011). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Fundación Santiago de Guayaquil, 252.
- [2] UNESCO. (2003). WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIVE. Paris.
- [3] UNESCO. (s.f.). Desarrollo de Recursos Hídricos.
- [4] Ley de Recursos Hídricos usos y aprovechamiento del Agua (2014).
- [5] Chow, V., Mays, L., & Maidment, D. (1994). "Hidrología Aplicada". McGraw-Hill Interamericana S.A.
- [6] Estudio de lluvias intensas INAMHI - Luis Rodríguez Fiallos 1999.
- [7] Bureau of Reclamation. (1987). "Design of small dams" (3rd. ed.). Washington DC.: U.S. Government Printing Office.
- [8] Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das (2001).
- [9] Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. Braja M. Das. Séptima edición.
- [10] Mecánica de Suelos Laboratorio. Ing. Carmen Terreros de Varela(1995).
- [11] Mecánica de Suelos Práctica. Ing. Carmen Terreros de Varela 2da edición mejorada (2007).
- [12] Carrión Rodríguez, R., & Gonzales Zambrano, P. (2009). "Estudios y Diseños de la Presa de Embalse del Parque del Conocimiento - ESPOL". Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra - ESPOL, Guayaquil, Ecuador.

## APÉNDICE A



Mapa de zonificación de Intensidades de Precipitación.  
Fuente: Estudio de lluvias intensas INAMHI - Luis Rodríguez Fiallos 1999.