



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“AFECTACIONES POR LA EXPLOTACIÓN PETREA EN EL CAUCE DEL RÍO PITA, SECTOR PLAYAS DE OJIVA, CANTÓN BABAHOYO, PROVINCIA DE LOS RÍOS. PROPUESTA DE SOLUCIONES”**

**PROYECTO DE LA MATERIA INTEGRADORA**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Presentado por:

Susana Claribel Jaramillo Ramos

Wilmer Alberto Apolo Iñiguez

Director: Ing. Miguel Ángel Chávez Moncayo, Ph. D.

Guayaquil – Ecuador

2015

## **AGRADECIMIENTO**

Primero a Dios por estar siempre pendiente de mis preocupaciones, por permitirme realizar una de las metas trazadas en mi vida, a mi madre hermosa Grimaneza Ramos por ser mi fuerza y apoyo, por confiar siempre en mí, a mi padre Orlando Jaramillo por su paciencia y respaldo, a mi hermana Diana Jaramillo Ramos por la motivación, a Wilmer Apolo por ser mi compañero, mi mejor amigo y mi soporte cuando más lo he necesitado, al Ingeniero Miguel Ángel Chavez Ph. D. y a la Ingeniera Alby Aguilar, M. Sc. por brindarme sus conocimientos y la libertad para hablar con ellos más que como maestros como amigos.

***Susana Claribel Jaramillo Ramos***

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

En segundo lugar a cada uno de mis familiares, en especial a mi MADRE Mariana Iñiguez por apoyarme en todo momento, por los valores que me ha inculcado, sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir, a mi HERMANA Jessica y mi PRIMO Henry por brindarme toda la ayuda que les fue posible, son una parte muy importante en mi vida.

A Susana por haber sido una excelente compañera y amiga, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, por haberme tenido la paciencia necesaria y por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación y sobre todo por hacer de su familia, una familia para mí.

A mis maestros, porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación profesional, en especial al Ing. Miguel Ángel Chávez Ph. D. por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios y para la elaboración de este proyecto; a la Ing. Alby Aguilar, M. Sc. por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

***Wilmer Alberto Apolo Iñiguez***

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que he dado, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba, sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Los amo con mi vida.

***Susana Claribel Jaramillo Ramos***

## DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada a mi madre, pilar fundamental en mi vida, a quien Amo Infinitamente. Sin ella, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad, sacrificio y lucha han hecho de ella un gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mi hermana.

***Wilmer Alberto Apolo Iñiguez***

## **TRIBUNAL DE EVALUACIÓN**

---

**Ing. Miguel Ángel Chávez Ph. D.**

**PROFESOR EVALUADOR**

---

**Ing. Alby Aguilar Pesantez M. Sc.**

**PROFESORA EVALUADORA**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

---

**SUSANA C. JARAMILLO RAMOS**

---

**WILMER A. APOLO IÑIGUEZ**

## **RESUMEN**

En el presente documento se detallaran las afectaciones que se generan por la explotación pétreo inadecuada en el cauce del Río Pita y las posibles soluciones al problema puntual de la inestabilidad de la terraza indiferenciada del margen derecho del mismo. Para lo cual se conformó el trabajo con un total de 7 capítulos, los cuales son:

Capítulo 1: En este capítulo se realiza un análisis de los antecedentes y se establecen los objetivos del proyecto y su justificación.

Capítulo 2: Se mencionan los conceptos básicos para el correcto entendimiento del proyecto descrito y se presenta el marco legal, que establece las competencias de los organismos de control y su papel en cuanto a la regulación y control de la explotación de materiales áridos y pétreos.

Capítulo 3: Se muestra la ubicación del área afectada y se desarrolla un análisis más profundo, para establecer los problemas generales del sector que fueron constatados en las visitas de campo realizadas.



Capítulo 4: Se realizan los cálculos previos que determinan características de la cuenca hidrográfica del Río Pita, como son: la obtención de las curvas IDF de la cuenca en base a los datos de la estación pluviométrica más cercana, tiempo de concentración, umbral de escorrentía, determinación del caudal, obtención del área de la cuenca, longitud y pendiente del cauce principal mediante el uso de software.

Capítulo 5: En este capítulo se realiza la caracterización del material existente, se muestran los resultados de los ensayos realizados así como el dimensionamiento de rocas de gran tamaño.

Capítulo 6: Se realiza un resumen del impacto ambiental que ha sufrido el sector, se verifica la estabilización del talud de la terraza indiferenciada mediante la utilización de un software y se efectúa el planteamiento de las posibles soluciones al problema que afecta al sector Playas de Ojiva y en específico al margen derecho del Río Pita.

Capítulo 7: En este capítulo se listan las conclusiones y recomendaciones sobre el proyecto planteado.

# ÍNDICE GENERAL

|                                          |       |
|------------------------------------------|-------|
| RESUMEN.....                             | VIII  |
| ÍNDICE GENERAL.....                      | X     |
| ABREVIATURAS .....                       | XIV   |
| SIMBOLOGÍA .....                         | XVI   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                   | XVIII |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                   | XXII  |
| ÍNDICE DE ECUACIONES .....               | XXIV  |
| INTRODUCCIÓN.....                        | XXV   |
| 1 MARCO REFERENCIAL .....                | 1     |
| 1.1 Resumen Ejecutivo del Proyecto ..... | 1     |
| 1.2 Antecedentes del Proyecto .....      | 3     |
| 1.3 Justificación del Proyecto .....     | 5     |
| 1.4 Objetivos del Proyecto .....         | 6     |
| 1.4.1 Objetivo General .....             | 6     |
| 1.4.2 Objetivos Específicos .....        | 7     |
| 2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....         | 8     |

|       |                                                                 |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 2.1   | Definiciones Básicas.....                                       | 8  |
| 2.2   | Aspectos Generales .....                                        | 11 |
| 2.3   | Marco Legal .....                                               | 20 |
| 3     | CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO A<br>DESARROLLAR ..... | 38 |
| 3.1   | Ubicación del Proyecto .....                                    | 38 |
| 3.2   | Problemas Generales en el Sector Playas de Ojiva .....          | 40 |
| 3.2.1 | Trabajo de Campo.....                                           | 40 |
| 3.2.2 | Condiciones Climáticas .....                                    | 46 |
| 4     | CALCULOS PREVIOS .....                                          | 47 |
| 4.1   | Determinación del Caudal de la Cuenca.....                      | 47 |
| 4.1.1 | Determinación de la Precipitación Máxima Diaria .....           | 49 |
| 4.1.2 | Método Témez .....                                              | 63 |
| 5     | CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.....                               | 73 |
| 5.1   | Ensayos Realizados .....                                        | 73 |
| 5.1.1 | Análisis de los Ensayos.....                                    | 75 |
| 5.2   | Dimensionamiento de Rocas Tamaño Superior a 8” .....            | 78 |
| 6.    | PLANTEAMIENTO Y DISEÑO DE LAS POSIBLES SOLUCIONES.....          | 81 |
| 6.1   | Impacto Ambiental .....                                         | 82 |

|       |                                                       |     |
|-------|-------------------------------------------------------|-----|
| 6.1.1 | Paisaje y Suelo.....                                  | 82  |
| 6.1.2 | Ruido.....                                            | 82  |
| 6.1.3 | Fauna.....                                            | 83  |
| 6.1.4 | Flora.....                                            | 83  |
| 6.2   | Condiciones de Cimentación .....                      | 84  |
| 6.3   | Muro de Escollera (Primera Solución) .....            | 87  |
| 6.3.1 | Descripción de la Obra Proyectada.....                | 87  |
| 6.3.2 | Propiedades del Material para Escollera.....          | 90  |
| 6.3.3 | Dimensionamiento del Muro de Escollera .....          | 98  |
| 6.3.4 | Ventajas y Desventajas del Muro de Escollera .....    | 106 |
| 6.4   | Bambú (Segunda Solución) .....                        | 107 |
| 6.4.1 | Descripción de la Obra Proyectada.....                | 107 |
| 6.4.2 | Propiedades del Bambú .....                           | 108 |
| 6.4.3 | Diseño de la Segunda Solución (Bambú).....            | 113 |
| 6.4.4 | Ventajas y Desventajas de la Solución con Bambú ..... | 115 |
| 6.5   | Análisis y Evaluación de los Resultados.....          | 116 |
| 7.    | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                   | 118 |
| 7.1   | Conclusiones .....                                    | 118 |
| 7.2   | Recomendaciones .....                                 | 119 |

ANEXO 1 (LÁMINAS)

ANEXO 2 (ENSAYOS REALIZADOS, A.P.U Y PRESUPUESTO)

ANEXO 3 (EVIDENCIA FOTOGRÁFICA)

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

|                   |                                                                     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>AASHTO</b>     | American Association of State Highway and transportation officials. |
| <b>A. P. U.</b>   | Análisis de Precios Unitarios                                       |
| <b>ARCOM</b>      | Agencia de Regulación y Control Minero                              |
| <b>C</b>          | Cohesión                                                            |
| <b>Cc</b>         | Coeficiente de Curvatura                                            |
| <b>CN</b>         | Número de Curva                                                     |
| <b>Cu</b>         | Coeficiente de Uniformidad                                          |
| <b>CURVAS IDF</b> | Curvas de intensidad – duración – frecuencia                        |
| <b>FRN</b>        | Fundación Río Napo                                                  |
| <b>FS</b>         | Factor de seguridad                                                 |
| <b>GAD</b>        | Gobierno Autónomo Descentralizado                                   |
| <b>GIS</b>        | Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)   |
| <b>GM</b>         | Grava limosa                                                        |
| <b>GP</b>         | Grava mal graduada                                                  |
| <b>GPS</b>        | Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento global)       |
| <b>IGM</b>        | Instituto Geográfico Militar                                        |
| <b>INAMHI</b>     | Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología                     |
| <b>IP</b>         | Índice Plástico                                                     |
| <b>LA</b>         | Coeficiente de Los Ángeles                                          |
| <b>LL</b>         | Límite líquido                                                      |
| <b>LP</b>         | Límite Plástico                                                     |
| <b>MAE</b>        | Ministerio del Ambiente                                             |
| <b>MAGAP</b>      | Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca           |
| <b>SP</b>         | Arena mal graduada                                                  |

**SUCS**

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**SW**

Arena bien graduada

**UTM**

Sistema de coordenadas transversal de Mercator

## SIMBOLOGÍA

|                                      |                                          |
|--------------------------------------|------------------------------------------|
| $\phi$                               | Ángulo de Fricción Interna               |
| <b>Q</b>                             | Caudal                                   |
| <b>cm</b>                            | Centímetro                               |
| $\delta$                             | Densidad de la roca                      |
| $^{\circ}$                           | Grado                                    |
| $^{\circ}\text{C}$                   | Grados Centígrados                       |
| <b>h ó hr</b>                        | Hora                                     |
| <b>kg</b>                            | Kilogramo                                |
| <b>kg/m<sup>3</sup></b>              | Kilogramo sobre metro cúbico             |
| <b>km</b>                            | Kilómetro                                |
| <b>km<sup>2</sup></b>                | Kilómetro cuadrado                       |
| <b>kN/m<sup>3</sup></b>              | KiloNewton sobre metro cúbico            |
| <b>MPa</b>                           | Megapáscales                             |
| <b>m</b>                             | Metro                                    |
| <b>m<sup>2</sup></b>                 | Metro cuadrado                           |
| <b>m<sup>3</sup></b>                 | Metro cubico                             |
| <b>m<sup>3</sup>/s</b>               | Metro cúbico sobre segundo               |
| <b>m/m</b>                           | Metro sobre Metro                        |
| <b>mm</b>                            | Milímetro                                |
| <b>mm/h o mm/hr</b>                  | Milímetros sobre hora                    |
| <b>min</b>                           | Minuto                                   |
| <b><math>\Delta\text{m/m}</math></b> | Pérdida de masa                          |
| $\gamma$                             | Peso especifico                          |
| <b><math>\gamma_{ap}</math></b>      | Peso específico aparente de la escollera |



|            |                               |
|------------|-------------------------------|
| $\gamma_d$ | Peso específico seco mínimo   |
| %          | Por ciento                    |
| Tn         | Tonelada                      |
| $Tn/m^2$   | Tonelada sobre metro cuadrado |
| $Tn/m^3$   | Tonelada sobre metro cubico   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 1.</i> Determinación de faja marginal en un río – sección transversal....                                         | 10 |
| <i>Figura 2.</i> Diagrama de Secciones Transversal de un Canal Fluvial.....                                                 | 14 |
| <i>Figura 3.</i> Metodología de extracción a tajo abierto .....                                                             | 17 |
| <i>Figura 4.</i> Trampa de grava .....                                                                                      | 19 |
| <i>Figura 5.</i> Localización general del área de estudio.....                                                              | 39 |
| <i>Figura 6.</i> Ubicación de la cuenca hidrográfica del Rio Pita relacionada al estudio .....                              | 40 |
| <i>Figura 7.</i> Fotografía aérea de 1978, en la que se ha graficado el área de explotación.....                            | 41 |
| <i>Figura 8.</i> Magnitud de la explotación, distancia del cauce respecto al margen derecho es de aproximadamente 100m..... | 43 |
| <i>Figura 9.</i> Material estoqueado que obstaculiza el flujo normal del agua.....                                          | 43 |
| <i>Figura 10.</i> Variedad de material existente en la mina .....                                                           | 43 |
| <i>Figura 11.</i> El daño ocasionado al cauce, permite al agua ingresar cada vez más cerca de la vía.....                   | 44 |
| <i>Figura 12.</i> Terraza indiferenciada con sembríos de maíz afectada por explotación, talud casi vertical .....           | 45 |
| <i>Figura 13.</i> Destrucción en la flora del lugar .....                                                                   | 45 |

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 14.</i> Profundidad de excavación.....                                                                                                         | 46 |
| <i>Figura 15.</i> Grafica duración - intensidad para T=2 años.....                                                                                       | 54 |
| <i>Figura 16.</i> Grafica duración - intensidad para T=5 años.....                                                                                       | 55 |
| <i>Figura 17.</i> Grafica duración - intensidad para T=10 años.....                                                                                      | 56 |
| <i>Figura 18.</i> Grafica duración - intensidad para T=25 años.....                                                                                      | 57 |
| <i>Figura 19.</i> Grafica duración - intensidad para T=50 años.....                                                                                      | 58 |
| <i>Figura 20.</i> Grafica duración - intensidad para T=100 años.....                                                                                     | 59 |
| <i>Figura 21.</i> Grafica duración - intensidad para T=500 años.....                                                                                     | 60 |
| <i>Figura 22.</i> Grafica periodo de retorno - Constante de regresión d.....                                                                             | 62 |
| <i>Figura 23.</i> Curvas IDF de la cuenca para diferentes Periodos de retorno<br>(Tiempo de duración - Intensidad).....                                  | 63 |
| <i>Figura 24.</i> Toma de muestras para realizar ensayos (Terraza Indiferenciada)<br>.....                                                               | 74 |
| <i>Figura 25.</i> Toma de muestras para realizar ensayos (Lecho de río).....                                                                             | 75 |
| <i>Figura 26.</i> Rocas de diámetro de 40 y 63 cm.....                                                                                                   | 78 |
| <i>Figura 27.</i> Rocas de diámetro de 70 y 87 cm.....                                                                                                   | 78 |
| <i>Figura 28.</i> Roca de diámetro de 50 x 60 cm.....                                                                                                    | 79 |
| <i>Figura 29.</i> Roca de diámetro de 74 x 66 cm.....                                                                                                    | 79 |
| <i>Figura 30.</i> Roca de diámetro de 3.30 x 2.20 m.....                                                                                                 | 80 |
| <i>Figura 31.</i> Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad<br>FS = 1.019, Método de Fellenius sin considerar nivel freático..... | 85 |

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Figura 32.</i> Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad FS = 0.884, Método de Bishop sin considerar nivel freático .....                                         | 86  |
| <i>Figura 33.</i> Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad FS = 1.144, Método de Fellenius considerando un nivel freático a la altura del terreno (inundación)..... | 86  |
| <i>Figura 34.</i> Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad FS = 1.187, Método de Bishop considerando un nivel freático a la altura del terreno (inundación).....    | 87  |
| <i>Figura 35.</i> Altura H= 4.5 de la Terraza Indiferenciada .....                                                                                                                          | 88  |
| <i>Figura 36.</i> Fotografía aérea con abscisado en el que se trabajará el muro de escollera .....                                                                                          | 89  |
| <i>Figura 37.</i> Esquema de Muro de Escollera.....                                                                                                                                         | 98  |
| <i>Figura 38.</i> Variación del peso del muro con la pendiente para una altura de 12 metros.....                                                                                            | 99  |
| <i>Figura 39.</i> Abaco para el cálculo de muros de sostenimiento, situación IS y F=2.....                                                                                                  | 102 |
| <i>Figura 40.</i> Diseño de Muro de Escollera.....                                                                                                                                          | 103 |
| <i>Figura 41.</i> Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad FS = 1.524, Método de Bishop sin considerar nivel freático .....                                         | 104 |
| <i>Figura 42.</i> Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad FS = 1.740, Método de Bishop considerando un nivel freático a la altura del terreno (inundación).....    | 104 |

|                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Figura 43.</i> Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad FS = 1.762, Método de Morgenstern-Price considerando un nivel freático a la altura del terreno (inundación) ..... | 105 |
| <i>Figura 44.</i> Macollas de bambú a orillas de Río Pita .....                                                                                                                                      | 108 |
| <i>Figura 45.</i> Sistema Rizomático y Radicular de <i>Guadua Angustifolia</i> .....                                                                                                                 | 109 |
| <i>Figura 46.</i> <i>Guadua</i> ligada a las fuentes de agua, protegiendo el margen del río .....                                                                                                    | 110 |
| <i>Figura 47.</i> Conformación de un culmo de <i>guadua</i> .....                                                                                                                                    | 111 |
| <i>Figura 48.</i> Distribución de las macollas de bambú .....                                                                                                                                        | 114 |
| <i>Figura 49.</i> Diseño de Estabilización con el uso de bambú .....                                                                                                                                 | 114 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tabla I.</i> Datos de estación pluviométrica de Caluma .....                                                        | 49 |
| <i>Tabla II.</i> Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel ...                                     | 50 |
| <i>Tabla III.</i> Cálculo de variables probabilísticas .....                                                           | 51 |
| <i>Tabla IV.</i> Cálculo de precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias.....                  | 51 |
| <i>Tabla V.</i> Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas (fuentes: D.F Campos A, 1978) .....  | 52 |
| <i>Tabla VI.</i> Precipitación máxima Pd (mm) para tiempos de duración de 1 a 24 horas.....                            | 52 |
| <i>Tabla VII.</i> Intensidad de lluvia para tiempos de duración de 1 a 24 horas en diferentes tiempos de retorno ..... | 52 |
| <i>Tabla VIII.</i> Periodo de retorno para T = 2 años.....                                                             | 54 |
| <i>Tabla IX.</i> Periodo de retorno para T = 5 años.....                                                               | 55 |
| <i>Tabla X.</i> Periodo de retorno para T = 10 años.....                                                               | 56 |
| <i>Tabla XI.</i> Periodo de retorno para T = 25 años.....                                                              | 57 |
| <i>Tabla XII.</i> Periodo de retorno para T = 50 años.....                                                             | 58 |
| <i>Tabla XIII.</i> Periodo de retorno para T = 100 años.....                                                           | 59 |
| <i>Tabla XIV.</i> Periodo de retorno para T = 500 años .....                                                           | 60 |

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Tabla XV.</i> Resumen de aplicación de regresión lineal en los diferentes<br>tiempos de retorno .....                                  | 61  |
| <i>Tabla XVI.</i> Regresión potencial.....                                                                                                | 61  |
| <i>Tabla XVII.</i> Intensidades-tiempo de duración .....                                                                                  | 63  |
| <i>Tabla XVIII.</i> Datos para cálculo de caudal obtenidas del software ArcGis....                                                        | 64  |
| <i>Tabla XIX.</i> Obtención del número de curva CN .....                                                                                  | 71  |
| <i>Tabla XX.</i> Características físicas típicas de diversos suelos .....                                                                 | 85  |
| <i>Tabla XXI.</i> Datos para calcular muro de escollera .....                                                                             | 89  |
| <i>Tabla XXII.</i> Características y especificaciones técnicas del geotextil no tejido<br>utilizado para escollera y revestimiento .....  | 92  |
| <i>Tabla XXIII.</i> Características y especificaciones técnicas de la geomalla biaxial<br>utilizada para escolleras y revestimientos..... | 93  |
| <i>Tabla XXIV.</i> Peso específico seco aproximado de algunas rocas .....                                                                 | 96  |
| <i>Tabla XXV.</i> Características según el tipo de escollera .....                                                                        | 100 |
| <i>Tabla XXVI.</i> Tipos de situaciones en función del trasdós y el muro de<br>escollera asumido .....                                    | 101 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|                    |     |
|--------------------|-----|
| [Ecuación 1].....  | 48  |
| [Ecuación 2].....  | 51  |
| [Ecuación 3].....  | 52  |
| [Ecuación 4].....  | 53  |
| [Ecuación 5].....  | 53  |
| [Ecuación 6].....  | 53  |
| [Ecuación 7].....  | 64  |
| [Ecuación 8].....  | 64  |
| [Ecuación 9].....  | 65  |
| [Ecuación 10]..... | 66  |
| [Ecuación 11]..... | 66  |
| [Ecuación 12]..... | 68  |
| [Ecuación 13]..... | 69  |
| [Ecuación 14]..... | 102 |



## INTRODUCCIÓN

Es evidente que la explotación de recursos pétreos en los cauces de los ríos es en algunos casos una necesidad, debido a que estos materiales son requeridos para varios fines.

Cuando se trata de resolver problemas de construcción de vías, control de inundaciones, muros de contención, gaviones y otras soluciones, se debe tener en cuenta necesariamente que si la explotación que se realiza en los cauces genera afectaciones, debe sopesarse entre la solución que se está buscando a dar y el daño que se puede provocar con una explotación antitécnica.

Las grandes crecidas o avenidas en los ríos son las que determinan el efecto que han tenido las explotaciones pétreas en los cauces, ya que se producen frecuentes desbordamientos y erosión en las riveras. Estas situaciones ponen en peligro vidas humanas ya que existen recintos y en general viviendas asentadas en los márgenes del río, como tal es el caso del Río Pita que es motivo del presente estudio.

# **CAPITULO I**

## **1 MARCO REFERENCIAL**

### **1.1 Resumen Ejecutivo del Proyecto**

En el presente documento se realizará el análisis y descripción del daño que ocasiona la incorrecta explotación de cauces naturales, como es el caso del Río Pita en el sector “Playas de Ojiva” en el cual además se incluye afectación a gran parte de la terraza indiferenciada la cual ha sido consolidada por millones de años y ha formado parte del margen original del río, la cual ha funcionado como protección natural

para los habitantes y para una vía que se encuentra al borde de las excavaciones. La importancia de esta investigación es dar a conocer el daño que se produce a los habitantes de la zona y al medio ambiente.

La primera parte del proyecto se dedicará a la recopilación de información del sector, entre la cual consta:

- Indagación a moradores del lugar.
- Análisis de las características físicas del cauce natural, análisis del tamaño de las rocas, delimitación de las excavaciones.
- Cartas topográficas y fotografía aérea solicitadas al IGM.
- Análisis de la información hidrometeorológica obtenida del INAMHI.
- Toma de muestras de material del sitio para realizar ensayos de laboratorio para caracterizar el depósito aluvial.

Para conocer el caudal que afecta a nuestra área en estudio, primero se realizara el análisis de la cuenca hidrográfica del Río Pita, para lo cual emplearemos el software ArcMap, ArcCatalog, entre otras herramientas que forman parte del Sistema de Información Geográfica ArcGIS (conocido como GIS por sus siglas en ingles que significan Geographic Information System) que nos permitirá la visualización,

análisis e interpretación de los datos, para luego obtener el valor del caudal mediante la utilización del método Témez.

Luego de describir y analizar las afectaciones al cauce y a sus riberas, se proponen y se diseñan las soluciones más convenientes para estabilizar el talud y controlar o al menos reducir los riesgos de desborde de caudales.

## **1.2 Antecedentes del Proyecto**

En el trabajo de Terry (2013) sobre explotación de material pétreo del Río Jatunyacu, da a conocer el problema que se está generando en este río y la denuncia realizada por la Fundación Río Napo sobre una nueva explotación de material pétreo en el sector de Yutzupino en el Río Jatunyacu el 21 de diciembre de 2012, el trabajo manifiesta la preocupación por la incidencia y afectación de la explotación en el atractivo turístico de la zona, para lo cual la única respuesta que han obtenido por parte de ARCOM-Ibarra es una inspección en coordinación con el GAD Provincial de Napo, sin considerar para esto a la FRN o el MAE-Napo, en conclusión la ARCOM-Ibarra minimiza y no considera las peticiones en la solicitud de la FRN [1].

Ya que el problema de la explotación de áridos cada día se hace más extensivo ya sea que afecte al turismo, al cauce o a la faja marginal de los ríos es un daño que debemos prever, no se puede tomar a la ligera este tema, en el 2014, Juan Carlos Torres en su Tesis “ NECESIDAD DE REFORMAR LA LEY DE MINERÍA PARA LA EXPLOTACIÓN TÉCNICA DE LOS MATERIALES ÁRIDOS Y PÉTREOS POR PARTE DE LOS GADs DEL ECUADOR, A FIN DE PREVENIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL”, hace notar la importancia de un cambio, ya que de la forma como se está manejando este tema actualmente no se observa que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales hayan asumido la competencia de administración, control y la respectiva explotación técnica de dichos materiales con la finalidad de conservar y preservar el entorno natural y ambiental [2].

En el presente caso se trata de una afectación a un cauce natural ya que ha sido modificado en sus márgenes dotados de árboles centenarios y se ha exacerbado hasta llegar casi a cortar una vía en proceso de asfaltado, paralela al cauce.

### 1.3 Justificación del Proyecto

Existen muchos cauces de ríos que se ven afectados, ya que al cumplir la función de mina al construir o realizar rehabilitación en una vía, o ejecutar alguna obra, las personas no ponemos mayor atención al daño que se generará en este sitio, si la mina es explotada de tal manera que afecta al cauce natural del río, daña la fauna del lugar, ocasiona daños a los moradores ya sea a sus viviendas o plantaciones.

¿Podría considerarse el trabajo realizado en esta mina realmente una ayuda a alguien o a algún lugar, o simplemente un bienestar momentáneo para una, dos o tres personas?

La importancia de esta investigación es dar a conocer ¿Qué? y a ¿Quién? se está perjudicando con el afán de solucionar problemas generados en otros lugares, no se puede pretender ayudar a un sector determinado y generar problemas a otro, se tiene que tener claro que dichos trabajos se deben realizar de una manera técnica y con el debido plan de manejo ambiental.

En el caso de la mina que se encuentra en el sector Playas de Ojiva, la cual es objeto de esta investigación, se constata algunos de los efectos

destructivos que se pueden ver a simple vista, como son el desorden en la explotación, la excavación hacia el interior de terrazas consolidadas, las cuales han sido la protección natural frente a las avenidas del río Pita, así como efectos que solo son apreciables con la información que se tiene mediante la utilización de fotografías aéreas.

El presente trabajo, además de contar con un grado de aplicación técnica, contará con un valor social importante; debido a que, ayudará a implementar diseños que pueden ser considerados en un futuro para la recuperación del Río Pita en el sector “Playas de Ojiva”.

#### **1.4 Objetivos del Proyecto**

A continuación se presentarán los objetivos generales que contiene el presente trabajo y los objetivos específicos en los que este estará enfocado.

##### **1.4.1 Objetivo General**

- Definir el procedimiento de remediación de las terrazas consolidadas del margen derecho que fueron degradadas por la extracción de material pétreo.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la cuenca del Río Pita y sus características, para el punto de aforo seleccionado en el sector Playas de Ojiva.
- Calcular el caudal que se genera en la cuenca del Río Pita para el punto de aforo seleccionado.
- Determinar la cantidad de material que ha sido explotado hasta la fecha.
- Establecer la forma correcta en la que debe ser explotado el cauce del río.
- Diseñar soluciones tentativas para la recuperación de los suelos degradados por la extracción de material pétreo.
- Analizar Ventajas y Desventajas de los diseños propuestos.



# **CAPÍTULO II**

## **2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **2.1 Definiciones Básicas**

#### **Álveos**

Se denominan álveos a los cauces naturales de una corriente continua o discontinua. Su extensión estará determinada por el terreno que sea cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias formando parte ese terreno del dominio hídrico público.

## **Riberas**

Las riberas son las fajas naturales de los álveos o cauces naturales situadas por encima del nivel de aguas bajas. Las riberas forman parte del dominio hídrico público. Se denominan márgenes a los terrenos que lindan con los cauces. La Autoridad de Demarcación Hidrográfica o el Responsable Técnico del Centro de Atención al Ciudadano correspondiente, mediante un procedimiento administrativo fijarán la extensión de los márgenes de las riberas.

## **Faja marginal**

Se define como la zona de transición entre el medio acuático y el terrestre, alrededor del cauce o álveo de un cuerpo de agua.

Esta zona cumple funciones que son reconocidas para el mantenimiento de la integridad hidrológica como ecológica capaz de reducir la erosión y/o conservar la estabilidad de los cauces, regular avenidas y calidad de los bienes asociados, y al mismo tiempo, permite el uso primario de las aguas, protección, operación, rehabilitación, mantenimiento, vigilancia y libre acceso a dicho cuerpo de agua.



**Figura 1. Determinación de faja marginal en un río – sección transversal**

Fuente: Alfonso, M. (2012). COLOMBIA.

### **Libre Aprovechamiento**

Es una resolución otorgada por los gobiernos municipales, los cuales regulan y controlan la explotación de materiales áridos y pétreos que se encuentren en los lechos de los ríos, lagos, lagunas, playas de mar y canteras, en concordancia con los procedimientos, requisitos y limitaciones que para el efecto se establezca en el reglamento especial dictado por el Ejecutivo.

### **Línea de Talweg**

Es la línea de mayor profundidad de las aguas, del lecho del río o la mitad del curso de las aguas si su nivel presenta escasas variaciones.

### **Caudal**

Se denomina caudal al volumen de agua que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinados. Se refiere fundamentalmente al volumen hidráulico de la escorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma. Suele medirse en m<sup>3</sup>/seg.

## **2.2 Aspectos Generales**

Cuando se habla de “explotación”, se hace referencia al modo en que se extraen beneficios de la naturaleza para ser usados en una economía de mercado. En el caso de la extracción de material pétreo perteneciente al cauce de un río nos referimos a los materiales aluviales dentro de un área de libre aprovechamiento establecida por el organismo de control, procurando que dicha extracción sea planificada y proyectada acorde a los parámetros hídricos del río, manteniendo la estabilidad del cauce del mismo.

En el año 2014, El Consejo Metropolitano de Quito, en la Ordenanza Metropolitana N°. 0557 define a los áridos y pétreos de la siguiente manera:

Se entenderá por materiales áridos a aquellos que resultan de la disgregación de las rocas y se caracteriza por su estabilidad química, resistencia mecánica y tamaño; y, pétreos a los agregados minerales lo suficientemente consistentes y resistentes a agentes atmosféricos. Estos materiales provienen de rocas y derivados de las rocas, sean estas de naturaleza ígnea, sedimentaria o metamórfica tales como: andesitas, basaltos, dacitas, riolitas, granitos, cenizas volcánicas, pómez, materiales calcáreos, arcillas superficiales; arenas de origen fluvial o marino, gravas; depósitos tipo aluviales, coluviales, flujos laharíticos y en general todos los materiales cuyo procesamiento no implique un proceso industrial diferente a la trituración y/o clasificación granulométrica o en algunos casos tratamientos de corte y pulido [3].

Por otro lado tomando como referencia el trabajo del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, realizado en el año 1997, a cargo del Geólogo Mauricio Alfonso titulado: “DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES TÉCNICAS MINERO AMBIENTALES MEDIANTE LAS CUALES SE ADELANTA LA EXPLOTACIÓN DE MATERIALES

PÉTREOS EN LECHO DE RÍO EN COLOMBIA Y LA FORMULACIÓN DE RECOMENDACIONES TÉCNICAS Y DE NECESIDADES NORMATIVAS ASOCIADAS QUE PERMITAN ADELATAR ESTA ACTIVIDAD DE MANERA AMBIENTALMENTE RESPONSABLE” da a conocer lo siguiente:

Las arenas, la piedra y el cascajo de las riberas de los ríos SON RECURSOS NO RENOVABLES, ya que “estos depósitos no se formaron in situ, sino a través de procesos complejos de transformación que toman millones de años. Según su criterio hablar de arenas, cascajos y piedras del lecho de los cauces de los ríos y arroyos, es remontarse a millones de años de historia geológica.

Cuando se extraen del lecho de los ríos y quebradas, rocas, arenas o cascajo o mezcla de estos materiales, la cavidad que se forma es luego rellenada por el material que arrastra el río; generalmente, después de la siguiente época de lluvias, desde las cabeceras del mismo sistema o cuenca. Se trata del transporte de materiales, por el mismo río o quebrada, desde un sitio del sistema a otro del mismo cauce.

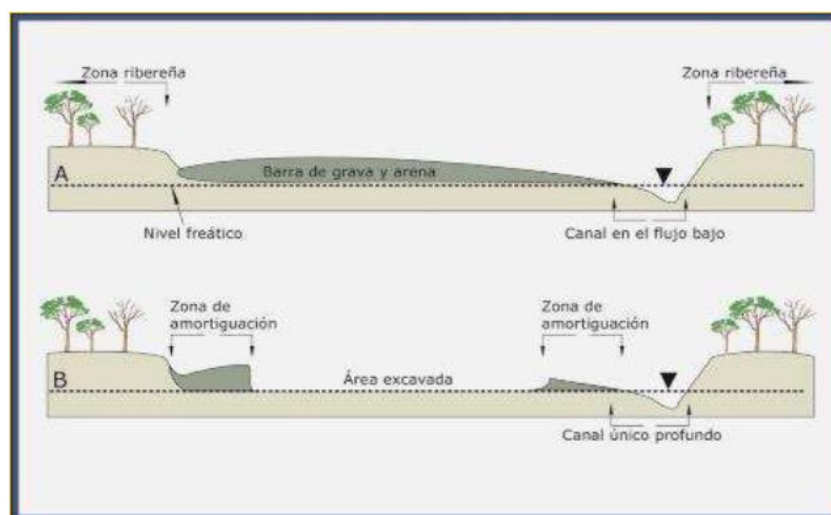
Por la misma razón cualquier retiro de materiales desde el lecho del río, implica la sustracción de materiales al sistema total. En la faja Marginal no es posible reponer tales materiales, al menos en el tiempo de escala humana.

Como sabemos existen leyes que amparan los recursos de la naturaleza pero de igual manera conocemos que no siempre se cumplen, generando una explotación antitécnica de materiales áridos y pétreos, esto provoca la destrucción del cauce, riberas y faja marginal, poniendo en situación de riesgo a los moradores, vías cercanas y generando graves deterioros ambientales.

Son explotaciones que no conservan una franja mínima de retiro a las corrientes y muchas veces invaden su cauce con descargue de material, cambiando el flujo hídrico de éste. Lo anterior se convierte en un problema hidráulico a pesar de tener permiso para realizar actividades de aprovechamiento minero en el cauce [4].

Para el caso de los depósitos de agregados pétreos asociados a sistemas fluviales, Colombia tiene algunos métodos de explotación dados por El Ministerio de Minas y Energía, los cuales son:

**Raspado de barras:** El raspado de barras consiste en la extracción de los materiales de la parte superficial de las barras laterales. Se recomienda extraer los materiales de la porción superficial de las barras de acuerdo con los siguientes criterios técnicos:



**Figura 2. Diagrama de Secciones Transversal de un Canal Fluvial**

Fuente: Alfonso, M. (2012). COLOMBIA.

- Debe dejarse sin perturbar la parte anterior de la barra a un tercio de su cabecera, a fin de mantener el control hidráulico aguas arriba proveído por los rápidos presentes en este sector de la barra. De esta forma se explotará únicamente desde aguas abajo hasta aproximadamente dos tercios de la longitud máxima de la barra.
- El material a extraer debe limitarse a aquel que se encuentra 0,60 metros por encima del nivel más bajo del espejo de agua en los períodos de verano. A partir de esta "curva de nivel" y hasta el espejo de agua se constituye una "zona amortiguadora de orillas" que no deberá explotarse para no perder el confinamiento del río.
- El límite inferior de explotación estará conformado por una línea imaginaria inclinada entre 2 a 3 por ciento de gradiente, desde la "curva de nivel" demarcada con el criterio anterior (0,60 metros sobre el nivel del espejo de agua), en dirección al límite exterior de la barra o borde del banco que limita la barra.
- Deberá dejarse sin extraer el material presente en una zona amortiguadora de márgenes, conformada por una línea



imaginaria paralela al borde del banco situado a dos metros de su base. Se sugiere una pendiente del talud final en el límite exterior de la barra de 45°.

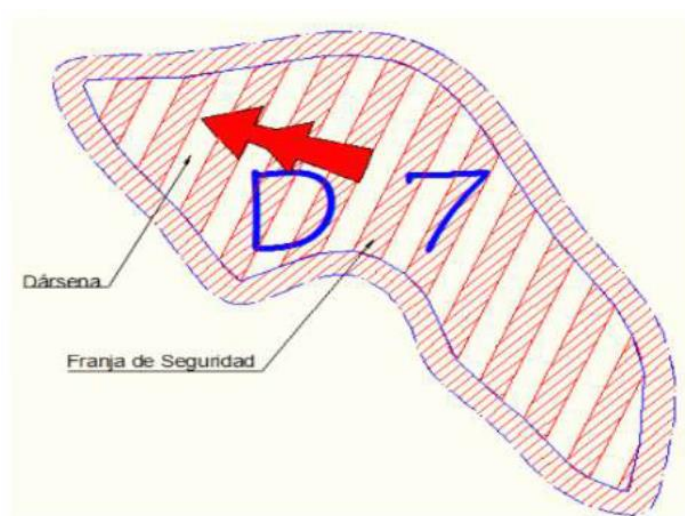
- La superficie de la barra deberá dejarse homogénea, libre de protuberancias, huecos poco profundos e irregularidades que puedan formar trampas para los peces en épocas de crecida.

**Minería a tajo abierto en el sector seco del canal:** Este tipo de explotación se presenta cuando desarrolla un tajo de explotación dentro del canal activo en lechos de corrientes efímeras o intermitentes mediante el uso de tractores de oruga con cuchilla frontal o escrepa, y cargadores convencionales.

Una variante de este método se presenta cuando se trabaja en ríos con un régimen de flujo altamente variable, donde el minado se practica a través de todo lo ancho del canal activo en estaciones secas, aún dentro de la lámina de agua rebajando el nivel del lecho. Por sus fuertes impactos este método no es ambientalmente viable.

**Minería a tajo abierto dentro del espejo de agua:** Consiste en la excavación de un tajo en el canal activo bajo la superficie del agua o

bajo el nivel freático, mediante el empleo de una pala grúa (dragalina), o de una excavadora hidráulica (retroexcavadora) para extraer el material bajo el agua. Generalmente los tajos se practican a manera de trincheras o tiras lineales a lo ancho del canal (dársenas) y largo del canal.



**Figura 3. Metodología de extracción a tajo abierto**

Fuente: Alfonso, M. (2012). COLOMBIA.

Para este tipo de operaciones se sugiere:

- No extraer el material que se encuentra por debajo de una línea imaginaria ubicada un 1 metro por encima de la línea o nivel talweg.

- Emplear equipos de largo alcance que no interfieran directamente con el flujo de la corriente y que no permanezcan dentro de ella como sucede, por ejemplo, con las retroexcavadoras.
- Seccionar el canal en una cuadrícula desde aguas arriba hacia aguas abajo y desarrollar la explotación escalonada de las cuadrículas hacia aguas abajo, lo cual permitirá la recarga paulatina de las cuadrículas explotadas aguas arriba.
- Calibrar el alcance del equipo de extracción de tal forma que pueda controlarse la profundidad máxima de excavación.
- El uso de retroexcavadoras en este tipo de operaciones no permite un control apropiado de la profundidad de excavación, dejando la sección del lecho completamente irregular.

**Excavación de barras:** Consiste en excavar un tajo dentro de la barra en su extremo aguas abajo como fuente del material y como trampa a la vez. Como recomendaciones para este método se tiene: dejar los márgenes de la barra sin explotar (5 m como mínimo en todos los bordes), conectar el extremo aguas abajo del tajo con el canal para

generar un hábitat específico, y excavar solamente por encima del nivel del espejo de agua definido para períodos secos o de estiaje (caudales mínimos).

**Trampas de grava dentro del canal:** Son trampas de arena o de la carga de fondo que permiten capturar los materiales de arrastre sin generar un impacto hidráulico significativo en el canal.



**Figura 4. Trampa de grava**

Fuente: Alfonso, M. (2012). COLOMBIA.

Las bondades ambientales de este tipo de explotación son:

- Los impactos del minado se concentran en un sólo sitio, donde la grava atrapada puede extraerse mediante equipo pesado sin generar impacto sobre la vegetación ribereña o sobre los rasgos naturales del canal.

- Durante los períodos de crecientes, la estructura restrictiva del flujo constituye su control hidráulico, por lo cual no se presentan impactos aguas arriba de la trampa.
- La concentración del flujo a la salida de la trampa labra una piscina corriente abajo inmediatamente contigua a la estructura de contención. Ella puede constituir un hábitat importante en corrientes donde la formación de piscinas naturales se ve limitada por el carácter agradacional del flujo [4].

### **2.3 Marco Legal**

Todas las personas vivimos bajo leyes que buscan nuestro beneficio y cuidado en las cuales podemos ampararnos si nuestra salud o la del medio en el que vivimos se ve afectado o en riesgo por lo cual frente al problema mencionado citaremos Artículos de algunas Instituciones que cuidan el bien común.

#### **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR:**

##### **TÍTULO II.- DERECHOS**

##### **Capítulo Segundo.- Derecho del Buen Vivir.**

##### **Sección Segunda.- Ambiente Sano.**

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

## **TÍTULO V.- ORGANIZACIÓN TERRITORIAL DEL ESTADO**

### **Capítulo cuarto.- Régimen de competencias**

**Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

#### **Numeral:**

12. Regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos, que se encuentren en los lechos de los ríos, lagos, playas de mar y canteras.

## **TÍTULO VII.- RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR**

### **Capítulo Segundo.- Biodiversidad y recursos naturales.**

#### **Sección Primera.- Naturaleza y ambiente.**

**Art. 395.-** La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

**Art. 396.-** El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.

**Art. 397.-** En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los



ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

1. Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado.
2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

#### **Sección cuarta.- Recursos naturales**

**Art. 408.-** Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico.

Estos bienes sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución [5].

#### **REGLAMENTO AMBIENTAL DE ACTIVIDADES MINERAS, MINISTERIO AMBIENTE (18-SEP.-2014):**

#### **CAPÍTULO VIII.- DISPOSICIONES TÉCNICO-AMBIENTALES ESPECÍFICAS PARA ACTIVIDADES DE EXPLOTACIÓN**

**Art. 100.- Explotación de materiales de construcción en lechos de ríos, playas fluviales y terrazas.-** En la explotación de materiales pétreos, arena, grava, entre otros, en los lechos de los ríos, playas fluviales y terrazas se deberá observar lo establecido en este Reglamento para la explotación de placeres y captación de agua.

**Art. 101.- Mitigación de impactos.-** En la explotación de materiales de construcción, de minerales metálicos o no metálicos, se tendrá especial cuidado en mitigar convenientemente los impactos de: ruido, afectaciones al recurso hídrico superficial y subterráneo, afectaciones a cuencas, vibraciones y polvo y otras emisiones al aire, para no afectar a los trabajadores, pobladores e infraestructura existente alrededor del sitio de explotación. Para esto se emplearán diseños técnicos de explotación, implementación de sistemas de drenajes adecuados, sistema de bermas de seguridad técnicamente diseñadas y diseños técnicos de voladura de ser el caso, aspectos que deben ser incorporados en la base topográfica y presentados en el respectivo estudio de impacto ambiental. Las vías de acceso a los frentes de explotación se rociarán con agua, así mismo, se construirán cortinas o barreras vegetales o empedrados para amortiguar los impactos y para ocultar temporalmente la afectación del paisaje, el que será rehabilitado antes del cierre de operaciones total de la explotación a cielo abierto.

Las tecnologías y procedimientos técnicos utilizados en la explotación deberán garantizar la minimización de impactos ambientales y que después del cierre de operaciones mineras el área del proyecto sea rehabilitada.

Se procederá al modelado de taludes, con el objeto de conseguir perfiles geotécnicamente estables e integrados a la morfología del entorno y que, además, faciliten el reacondicionamiento e implantación de la vegetación.

Estas disposiciones se aplicarán sin perjuicio de las que, mediante ordenanza, establezca la municipalidad en cuya jurisdicción se encuentre el proyecto, sin embargo estas no deberán contraponerse a las dispuestas en el presente Reglamento [6].

## **REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY DE MINERÍA**

### **(DECRETO.119)**

#### **CAPÍTULO V.- CONCESIONES MINERAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**Art. 44.- Competencia de los gobiernos municipales.-** Los gobiernos municipales son competentes para autorizar, regular y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos que se encuentren en los lechos de los ríos, lagos, lagunas, playas de mar y canteras, en concordancia con los procedimientos, requisitos y limitaciones que para el efecto se establezca en el reglamento especial dictado por el Ejecutivo.

Para el otorgamiento de concesiones de materiales de construcción, los peticionarios estarán sujetos al cumplimiento de los actos administrativos previos determinados en el artículo 26 de la Ley de Minería y en el presente Reglamento General, así como a los requerimientos, especificaciones técnicas y demás requisitos que se establecieron en las respectivas ordenanzas de los gobiernos municipales para regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos y su manejo ambiental, así como también para controlar el manejo de transporte y movilización de dichos materiales.

La caducidad y nulidad de las concesiones de materiales de construcción está sujeta a las causales determinadas en la Ley.

## **CAPÍTULO VI.- LIBRE APROVECHAMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA OBRA PÚBLICA**

**Art. 48.- Explotación de materiales de construcción para obra pública.-** Las entidades e instituciones del Estado, directamente o por intermedio de sus contratistas, podrán aprovechar los materiales de construcción para obra pública en áreas libres, concesionadas y

aquellas autorizadas por los gobiernos municipales.

**Art. 49.- Autorización.-** El Ministerio Sectorial podrá autorizar, mediante resolución, el libre aprovechamiento temporal de materiales de construcción para obras públicas, contando con el informe catastral y técnico emitido por la Agencia de Regulación y Control Minero. En la misma resolución se establecerá: la denominación de la entidad o institución, nombres y apellidos o razón social de la contratista, en caso de haberlo, sus obligaciones y responsabilidades conforme a lo prescrito en el artículo 144 de la Ley de Minería; el plazo de duración del libre aprovechamiento, la obra pública a la que se destinarán los materiales, el lugar donde se emplearán los materiales y los volúmenes, hectáreas y coordenadas UTM y cuando no fuere posible establecer el área bajo estos parámetros, se estará a las disposiciones del instructivo técnico expedido por el Ministerio Sectorial, respecto de los cuales se autoriza el libre aprovechamiento.

Toda resolución de libre aprovechamiento deberá además determinar que dicho material podrá única y exclusivamente utilizarse en beneficio de la obra pública para la que se requirió la misma. El uso para otros fines, constituirá explotación y comercialización ilegal y estará sujeta al proceso de decomiso de la maquinaria empleada de conformidad con lo

que contempla la Ley.

El libre aprovechamiento de materiales de construcción deberá sujetarse a lo establecido tanto en el Reglamento Ambiental para Actividades Mineras en la República del Ecuador y el Reglamento de Seguridad Minera [7].

## **LEY DE MINERÍA**

### **TÍTULO IX.- DE LOS REGÍMENES ESPECIALES**

#### **Capítulo III.- De los Materiales de Construcción**

**Art. 144.- Libre aprovechamiento de materiales de construcción para obras públicas.-** El Estado directamente o a través de sus contratistas podrá aprovechar libremente los materiales de construcción para obras públicas en áreas no concesionadas o concesionadas.

Considerando la finalidad social o pública del libre aprovechamiento, estos serán autorizados por el Ministerio Sectorial. La vigencia y los volúmenes de explotación se registrarán y se extenderán única y exclusivamente por los requerimientos técnicos de producción y el tiempo que dure la ejecución de la obra pública.

Dicho material podrá emplearse única y exclusivamente en beneficio de la obra pública para la que se requirió el libre aprovechamiento. El uso para otros fines constituirá explotación ilegal que se someterá a lo determinado para este efecto en la presente ley.

El contratista del Estado, no podrá incluir en sus costos los valores correspondientes a los materiales de construcción aprovechados libremente. En caso de comprobarse la explotación de libre aprovechamiento para otros fines será sancionado con una multa equivalente a 200 remuneraciones básicas unificadas y en caso de reincidencia con la terminación del contrato para dicha obra pública.

Las autorizaciones de libre aprovechamiento, están sujetas al cumplimiento de todas las disposiciones de la presente ley, especialmente las de carácter ambiental.

Los contratistas que exploten los libres aprovechamientos están obligados al cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental [8].

**LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS, USOS Y  
APROVECHAMIENTO DEL AGUA**

**TÍTULO II.- RECURSOS HÍDRICOS**



## **Capítulo I.- Definición, Infraestructura y Clasificación de los Recursos Hídricos**

**Artículo 10.- Dominio hídrico público.** El dominio hídrico público está constituido por los siguientes elementos naturales:

- a) Los ríos, lagos, lagunas, humedales, nevados, glaciares y caídas naturales;
- b) El agua subterránea;
- c) Los acuíferos a los efectos de protección y disposición de los recursos hídricos;
- d) Las fuentes de agua, entendiéndose por tales las nacientes de los ríos y de sus afluentes, manantial o naciente natural en el que brota a la superficie el agua subterránea o aquella que se recoge en su inicio de la esorrentía;
- e) Los álveos o cauces naturales de una corriente continua o discontinua que son los terrenos cubiertos por las aguas en las máximas crecidas ordinarias;
- f) Los lechos y subsuelos de los ríos, lagos, lagunas y embalses superficiales en cauces naturales;
- g) Las riberas que son las fajas naturales de los cauces situadas por encima del nivel de aguas bajas;

- h) La conformación geomorfológica de las cuencas hidrográficas, y de sus desembocaduras;
- i) Los humedales marinos costeros y aguas costeras; y,
- j) Las aguas procedentes de la desalinización de agua de mar. Las obras o infraestructura hidráulica de titularidad pública y sus zonas de protección hidráulica se consideran parte integrante del dominio hídrico público.

**Artículo 13.- Formas de conservación y de protección de fuentes de agua** Constituyen formas de conservación y protección de fuentes de agua: las servidumbres de uso público, zonas de protección hídrica y las zonas de restricción. Los terrenos que lindan con los cauces públicos están sujetos en toda su extensión longitudinal a una zona de servidumbre para uso público, que se regulará de conformidad con el Reglamento y la Ley. Para la protección de las aguas que circulan por los cauces y de los ecosistemas asociados, se establece una zona de protección hídrica. Cualquier aprovechamiento que se pretenda desarrollar a una distancia del cauce, que se definirá reglamentariamente, deberá ser objeto de autorización por la Autoridad Única del Agua, sin perjuicio de otras autorizaciones que procedan. Las mismas servidumbres de uso público y zonas de protección hídrica existirán en los embalses superficiales. En los acuíferos se delimitarán

zonas de restricción en las que se condicionarán las actividades que puedan realizarse en ellas en la forma y con los efectos establecidos en el Reglamento a esta Ley [9].

**PRIMER SUPLEMENTO DEL REGISTRO OFICIAL NO. 483, (LUNES  
20 DE ABRIL DE 2015)**

**REGLAMENTO A LA LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS,  
USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA**

**CAPÍTULO SEGUNDO, PROTECCIÓN DEL DOMINIO HÍDRICO  
PÚBLICO**

**Sección Primera: La servidumbre de uso público**

**Artículo 62.-** Servidumbre de uso público: extensión y finalidad.- Los terrenos que lindan con los cauces están sujetos en toda su extensión longitudinal a una zona de servidumbre para uso público. La extensión de la zona de servidumbre será de cinco metros pudiéndose variar, en más o en menos, por razones topográficas, hidrográficas o por las necesidades concretas del otorgamiento de autorizaciones de uso de agua o de aprovechamiento productivo de agua.

## **Sección Segunda: Las zonas de protección hídrica**

### **Artículo 63.- Zonas de Protección Hídrica: Definición y Funcionalidad.-**

De conformidad con lo regulado en el artículo 13 de la Ley, para la protección de las aguas que circulan por los cauces y de los ecosistemas asociados, así como de la que se recoja en los embalses superficiales, se establece una zona de protección hídrica. En dicha zona se condicionará el uso del suelo y las actividades que en ella se desarrollen.

Las finalidades a cumplir por las zonas de protección hídrica son:

- a) La preservación del estado del dominio hídrico público y la prevención del deterioro de los ecosistemas asociados contribuyendo a su mejora; y,
- b) La protección del régimen de las corrientes en avenidas, favoreciendo la función de los terrenos colindantes con los cauces en la laminación de caudales y la carga sólida transportada.

### **Artículo 64.- Zonas de Protección Hídrica: Extensión y Modificación.-**

La zona de protección hídrica tendrá una extensión de 100 metros de anchura medidos horizontalmente a partir del cauce o de la máxima

extensión ordinaria de la lámina de agua en los embalses superficiales, pudiéndose variar por razones topográficas, hidrográficas u otras que determine la Autoridad Única del Agua en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional. La extensión indicada podrá modificarse en las siguientes circunstancias:

- a) En las zonas próximas a la desembocadura de los cursos de agua en el mar;
- b) En el entorno inmediato de los embalses; y,
- c) Cuando las condiciones topográficas o hidrográficas de los cauces y márgenes lo hagan necesario para la seguridad de personas y bienes.

**Artículo 65.-** Zonas de Protección Hídrica: Régimen Jurídico.- En las zonas de protección hídrica quedarán sometidas a lo dispuesto en este artículo:

- a) Las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno;
- b) Las extracciones de áridos;
- c) Las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional; y,
- d) Cualquier otro uso o actividad que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas o que pueda ser causa de

degradación o deterioro del estado del dominio hídrico público o de los ecosistemas asociados.

La ejecución de cualquier obra o trabajo de los indicados exigirá autorización previa de la Autoridad de Demarcación Hidrográfica o el Responsable Técnico del Centro de Atención al Ciudadano correspondiente, a solicitud del interesado, sin perjuicio de cuantas otras autorizaciones sean precisas obtener según el ordenamiento jurídico en cada caso aplicable [10].

# **CAPÍTULO III**

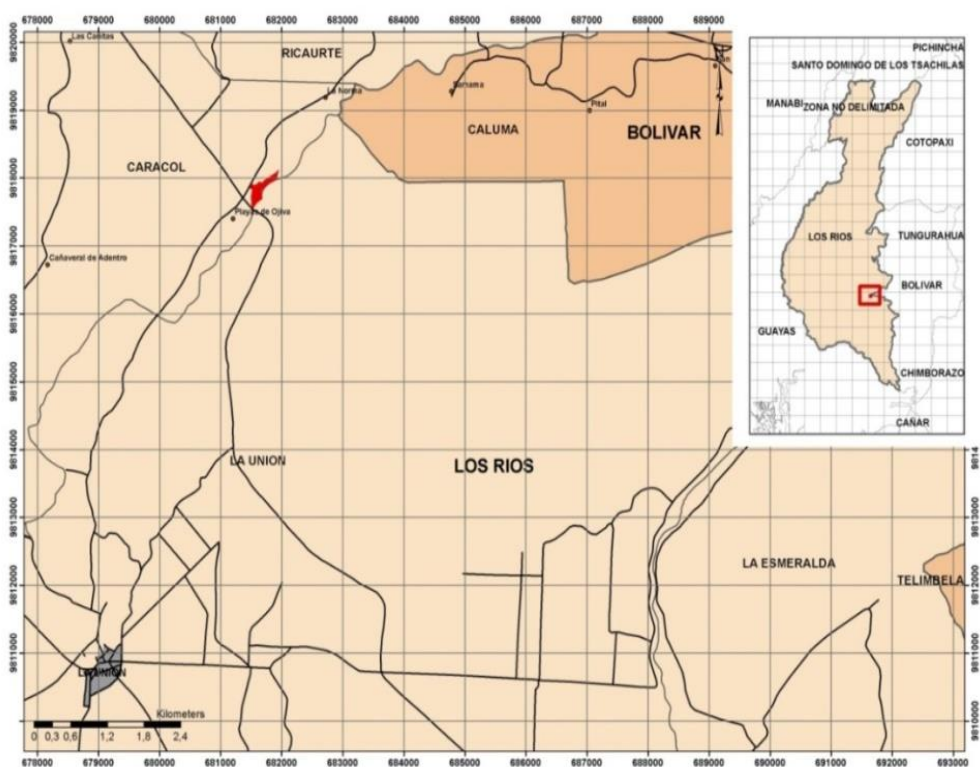
## **3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO A DESARROLLAR**

### **3.1 Ubicación del Proyecto**

El área de investigación se encuentra en el Sector Playas de Ojiva ubicado al margen derecho del Río Pita, en la Parroquia La Unión, del Cantón Babahoyo, en la Provincia de Los Ríos. La cuenca de este río abarca las Provincias de Los Ríos y Bolívar, tomándose para el estudio las cartas topográficas de: Catarama, Guaranda Oeste (en la que se encuentra la mayor parte de la cuenca) y San José de Camarón,

obtenidas del IGM [11], situada en las coordenadas:

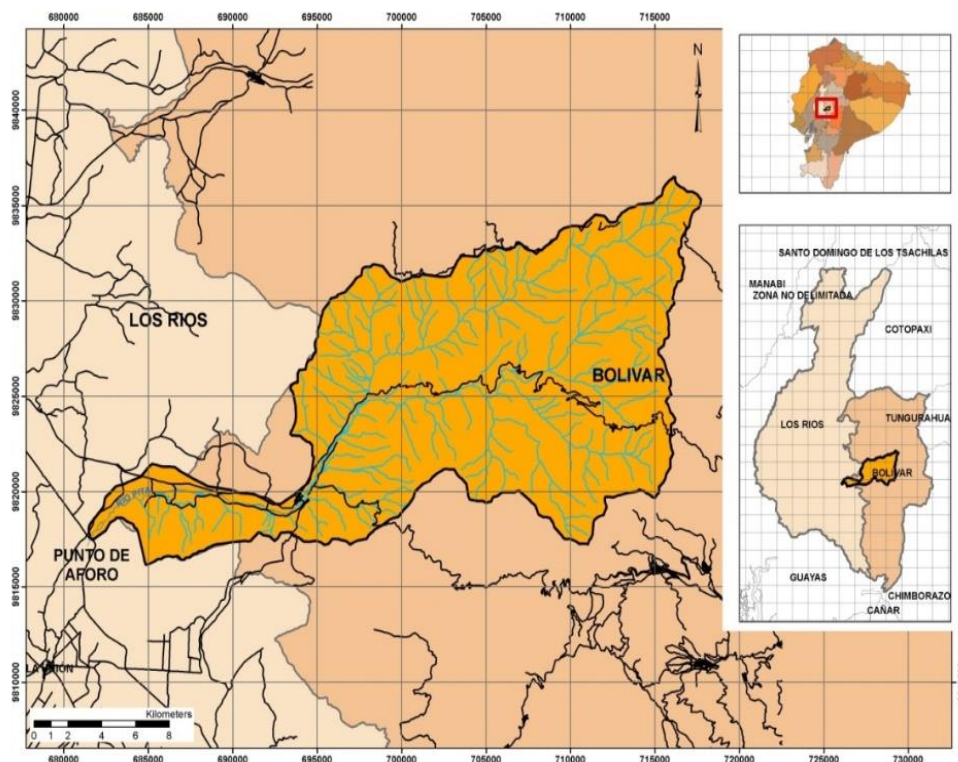
- X1: 681,615.00 – Y1: 9'817,831.00, lo que se aprecia en las Figuras 5 y 6.



**Figura 5. Localización general del área de estudio**

Fuente de Geodatabase: IGM, INEC





**Figura 6.** Ubicación de la cuenca hidrográfica del Río Pita relacionada al estudio

Fuente de Geodatabase: IGM, INEC

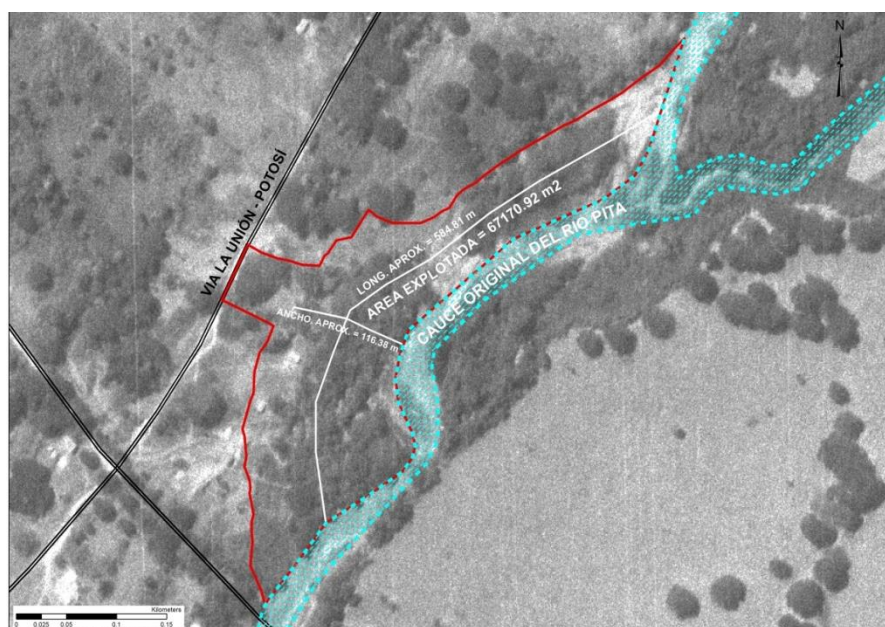
## 3.2 Problemas Generales en el Sector Playas de Ojiva

### 3.2.1 Trabajo de Campo

Con la finalidad de conocer el nivel de daño causado al sector “Playas de Ojiva” se realizó un recorrido, tomando coordenadas con un GPS de precisión para delimitar el área que se está explotando, a simple vista era notoria la forma desordenada de la extracción del material, encontrándose en el sitio numerosos stocks, además no solo se ha

realizado la explotación en el cauce, generando cambios en el mismo, sino también en la zona de protección hídrica de acuerdo a lo antes mencionado en el Reglamento a La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua en sus artículos 63 y 64.

La cual explica que se condicionara el uso del suelo y las actividades que allí se ejecuten así como también da una cantidad en metros que se toman como base de la zona de protección. En otras palabras aclara el gran cuidado que se debe tener en los márgenes de los ríos al momento de realizar este tipo de actividad tanto para las personas como por el medio ambiente.



**Figura 7. Fotografía aérea de 1978, en la que se ha graficado el área de explotación**

Fuente de Geodatabase: IGM (ver Lamina 3 en ANEXO 1)

En la Figura 7, se muestra la superposición del levantamiento realizado con GPS y una fotografía aérea del sector, correspondiente al año 1978 adquirida en el IGM, donde se puede apreciar la extensión a la que ha llegado la excavación durante los últimos años.

El sector afectado consta de un área de 67,170.92 m<sup>2</sup> con una longitud y ancho aproximados de Long= 584.81 m; Ancho= 116.38 m, el volumen de excavación realizado a la fecha se estima en 268,683.68 m<sup>3</sup>.

A continuación se detallaran algunas fotografías tomadas in situ con la descripción de lo observado.

En las fotos se observa el desorden de excavación y la distancia a la que se ha extendido la misma respecto al río. Se ven grandes bloques de diferentes diámetros de material en stocks los cuales al momento de ser transportados dejarían a esta área casi al mismo nivel del río, permitiendo que el agua ingrese con más facilidad de la que ya tiene, afectando a las viviendas, sembríos y vía cercana, por consiguiente el cambio del cauce.



**Figura 8.** Magnitud de la explotación, distancia del cauce respecto al margen derecho es de aproximadamente 100m



**Figura 9.** Material estoqueado que obstaculiza el flujo normal del agua



**Figura 10.** Variedad de material existente en la mina



**Figura 11.** El daño ocasionado al cauce, permite al agua ingresar cada vez más cerca de la vía

Se observa una pared, prácticamente vertical (Terraza Indiferenciada), la cual se vuelve un riesgo dado que no presenta ningún tipo de estabilidad y en etapa invernal no puede considerarse una protección para la fuerza de este río, que por años se ha caracterizado por sus grandes avenidas, y como consecuencia de esto habrá erosión, y por irónico que suene una de las soluciones sería volver a colocar material pétreo, en el mismo lugar donde se está realizando la explotación. Además los fertilizantes utilizados en los sembríos son un problema adicional al estar tan próximos al cauce, puesto que algunos moradores utilizan el agua directa para su uso personal.



**Figura 12.** Terraza indiferenciada con sembríos de maíz afectada por explotación, talud casi vertical

Se constató que Antiguos árboles han sufrido daños irreparables ya que han sido arrancados de raíz debido a la explotación realizada en ese sitio, que anteriormente era un lugar con diferentes especies.



**Figura 13.** Destrucción en la flora del lugar

Se notó una parte en la que la profundidad de excavación era aún mayor que en los otros lugares alcanzando casi dos metros de profundidad llegando a ser una nueva ruta para el agua, es decir un

cauce tentativo entre otros que se generarían si se sigue explotando esta zona.



**Figura 14. Profundidad de excavación**

### **3.2.2 Condiciones Climáticas**

Cuenta con dos estaciones climáticas, el verano que abarca desde el mes de mayo hasta diciembre, el cual se caracteriza por ser seco y fresco con una temperatura que oscila entre 22°C y 27°C, y el invierno que corresponde a los meses de enero hasta abril cuya temperatura oscila entre 29°C y 32°C, caracterizándose por ser caluroso y húmedo a la vez.

# **CAPÍTULO IV**

## **4 CALCULOS PREVIOS**

### **4.1 Determinación del Caudal de la Cuenca**

Para obtener el caudal generado en la cuenca del Río Pita nos valdremos del Método Témez, elaborado por el profesor J.R. Témez, el cual es una modificación del Método Racional, tras experimentar en numerosas y variadas cuencas aforadas.

Este método modifica la obtención de la Precipitación Máxima Diaria,



aplicándole un Factor Reductor de Lluvia, debido a la variabilidad espacial de las precipitaciones en cuencas de tamaño mayores a 1 km<sup>2</sup>, e introduce un Coeficiente de Uniformidad [12].

El límite de aplicación de este método está impuesto por el Tiempo de Concentración y la Superficie de la cuenca en estudio.

$$0.25 < T_c < 24h \quad ; \quad 1 \leq A < 3,000 \text{ km}^2$$

El caudal de referencia Q en el punto de aforo se obtendrá mediante la fórmula:

$$Q = 0.278 CIAK$$

*[Ecuación 1]*

Dónde:

**Q:** Descarga máxima de diseño (m<sup>3</sup>/s)

**C:** Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.

**I:** Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

**A:** Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**K:** Coeficiente de uniformidad

#### 4.1.1 Determinación de la Precipitación Máxima Diaria

**Tabla I. Datos de estación pluviométrica de Caluma**

| DATOS ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA                            |        |                 |        |        |        |                 |       |        |            |         |           |           |        |     |
|---------------------------------------------------------|--------|-----------------|--------|--------|--------|-----------------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|-----|
| Estación: CALUMA                                        |        | Coordenadas UTM |        |        |        | X = 689893.006  |       | Cota = |            | 350     |           |           |        |     |
| Denominación: M0129                                     |        |                 |        |        |        | Y = 9820860.861 |       |        |            |         |           |           |        |     |
| DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm) |        |                 |        |        |        |                 |       |        |            |         |           |           |        |     |
| Año                                                     | Enero  | Febrero         | Marzo  | Abril  | Mayo   | Junio           | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Máximo |     |
| 1964                                                    | 77.94  | 46.50           | 120.60 | 53.00  | 12.10  | 5.80            | 1.80  | 1.40   | 0.50       | 5.40    | 6.50      | 34.80     | 120.60 | MAR |
| 1965                                                    | 80.80  | 147.30          | 65.20  | 77.77  | 59.10  | 23.80           | 17.40 | 2.70   | 2.40       | 5.50    | 3.00      | 48.00     | 147.30 | FEB |
| 1966                                                    | 57.60  | 71.00           | 97.00  | 46.80  | 19.20  | 3.00            | 8.26  | 5.80   | 9.16       | 8.50    | 24.90     | 51.70     | 97.00  | MAR |
| 1967                                                    | 78.40  | 61.00           | 93.00  | 37.40  | 10.60  | 3.60            | 2.10  | 1.40   | 5.20       | 2.00    | 0.80      | 8.10      | 93.00  | MAR |
| 1968                                                    | 46.90  | 35.00           | 81.70  | 46.80  | 6.40   | 5.70            | 0.50  | 8.54   | 5.50       | 7.00    | 5.40      | 27.60     | 81.70  | MAR |
| 1969                                                    | 69.20  | 49.30           | 87.80  | 86.20  | 61.70  | 42.00           | 12.30 | 14.20  | 5.60       | 2.60    | 3.60      | 27.60     | 87.80  | MAR |
| 1970                                                    | 104.50 | 38.50           | 61.40  | 77.70  | 131.90 | 16.00           | 4.60  | 0.60   | 3.50       | 1.60    | 18.00     | 12.00     | 131.90 | MAY |
| 1971                                                    | 23.50  | 107.90          | 80.60  | 74.30  | 20.10  | 49.30           | 0.40  | 0.50   | 4.10       | 30.00   | 10.00     | 61.20     | 107.90 | FEB |
| 1972                                                    | 103.70 | 92.50           | 98.70  | 52.80  | 55.40  | 57.00           | 12.30 | 10.10  | 13.00      | 19.40   | 8.40      | 97.20     | 103.70 | ENE |
| 1973                                                    | 77.94  | 107.30          | 103.20 | 61.00  | 62.80  | 15.40           | 2.80  | 4.10   | 6.40       | 12.20   | 26.00     | 12.80     | 107.30 | FEB |
| 1974                                                    | 49.60  | 52.10           | 89.90  | 52.90  | 53.60  | 7.70            | 1.60  | 0.20   | 5.70       | 3.20    | 26.20     | 56.70     | 89.90  | MAR |
| 1975                                                    | 72.10  | 95.90           | 70.10  | 42.10  | 27.70  | 29.10           | 4.10  | 3.30   | 2.60       | 11.90   | 3.50      | 21.30     | 95.90  | FEB |
| 1976                                                    | 77.94  | 117.20          | 126.90 | 108.30 | 40.00  | 19.60           | 5.30  | 7.20   | 3.80       | 2.20    | 12.60     | 32.10     | 126.90 | MAR |
| 1977                                                    | 74.80  | 88.80           | 104.20 | 59.00  | 21.30  | 21.90           | 8.50  | 2.30   | 25.60      | 2.80    | 11.00     | 49.70     | 104.20 | MAR |
| 1978                                                    | 71.50  | 84.40           | 75.40  | 120.20 | 53.90  | 6.00            | 4.70  | 19.80  | 12.30      | 25.00   | 10.60     | 20.50     | 120.20 | ABR |
| 1979                                                    | 55.50  | 75.60           | 93.70  | 78.90  | 24.10  | 15.89           | 6.00  | 1.40   | 8.70       | 4.60    | 3.00      | 6.00      | 93.70  | MAR |
| 1980                                                    | 39.50  | 79.70           | 44.40  | 99.10  | 35.90  | 6.50            | 3.00  | 3.70   | 5.40       | 10.50   | 20.50     | 22.40     | 99.10  | ABR |
| 1981                                                    | 48.50  | 75.40           | 75.00  | 48.70  | 30.30  | 7.20            | 10.50 | 6.00   | 4.30       | 4.80    | 4.30      | 36.51     | 75.40  | FEB |
| 1982                                                    | 90.00  | 77.10           | 50.40  | 50.20  | 43.90  | 0.90            | 0.50  | 0.40   | 24.50      | 65.10   | 107.90    | 99.60     | 107.90 | NOV |
| 1983                                                    | 77.80  | 93.20           | 85.10  | 147.80 | 110.40 | 58.40           | 69.00 | 28.50  | 57.30      | 25.60   | 64.00     | 68.70     | 147.80 | ABR |
| 1984                                                    | 46.50  | 89.60           | 91.70  | 65.60  | 8.40   | 17.00           | 8.30  | 19.70  | 21.50      | 12.30   | 51.50     | 33.30     | 91.70  | MAR |
| 1985                                                    | 91.70  | 49.50           | 102.40 | 78.50  | 13.30  | 12.00           | 10.30 | 10.00  | 12.00      | 0.00    | 21.50     | 0.00      | 102.40 | MAR |
| 1986                                                    | 82.10  | 78.69           | 86.40  | 124.40 | 14.30  | 7.00            | 6.00  | 10.00  | 14.80      | 16.80   | 16.80     | 67.00     | 124.40 | ABR |
| 1987                                                    | 123.50 | 78.69           | 38.00  | 77.77  | 134.60 | 10.00           | 9.60  | 5.30   | 3.00       | 10.00   | 8.40      | 27.40     | 134.60 | MAY |
| 1988                                                    | 195.50 | 111.60          | 74.10  | 341.20 | 75.80  | 5.60            | 13.10 | 6.50   | 5.60       | 6.40    | 6.60      | 25.60     | 341.20 | ABR |
| 1989                                                    | 170.50 | 176.40          | 175.60 | 118.50 | 76.00  | 9.80            | 5.20  | 6.00   | 5.30       | 6.80    | 6.60      | 36.51     | 176.40 | FEB |
| 1990                                                    | 34.50  | 55.60           | 39.00  | 1.80   | 0.00   | 2.70            | 9.50  | 62.80  | 9.16       | 12.52   | 21.17     | 36.51     | 62.80  | AGO |
| 1991                                                    | 52.00  | 61.00           | 89.10  | 48.70  | 61.40  | 0.00            | 0.00  | 8.54   | 9.16       | 12.52   | 21.17     | 36.51     | 89.10  | MAR |
| 1992                                                    | 200.50 | 64.90           | 113.40 | 92.40  | 62.40  | 26.20           | 15.50 | 3.50   | 4.20       | 2.50    | 16.80     | 17.40     | 200.50 | ENE |
| 1993                                                    | 46.60  | 67.80           | 169.00 | 56.20  | 7.30   | 65.80           | 8.90  | 7.20   | 4.20       | 2.60    | 89.40     | 36.51     | 169.00 | MAR |
| 1994                                                    | 120.20 | 52.10           | 73.40  | 87.20  | 40.70  | 6.80            | 0.00  | 0.00   | 3.40       | 60.60   | 21.17     | 36.51     | 120.20 | ENE |
| 1995                                                    | 69.20  | 68.50           | 86.50  | 110.60 | 8.40   | 3.10            | 13.20 | 8.90   | 2.40       | 9.20    | 41.70     | 20.50     | 110.60 | ABR |
| 2006                                                    | 58.70  | 111.50          | 97.20  | 50.00  | 41.00  | 3.40            | 1.00  | 1.50   | 9.16       | 12.52   | 21.17     | 36.51     | 111.50 | FEB |
| 2007                                                    | 19.90  | 42.30           | 17.50  | 4.10   | 0.80   | 4.10            | 10.00 | 18.00  | 9.16       | 12.52   | 21.17     | 36.51     | 42.30  | FEB |
| 2008                                                    | 56.40  | 70.60           | 92.00  | 91.40  | 33.60  | 11.80           | 4.50  | 15.00  | 4.40       | 13.40   | 21.17     | 36.51     | 92.00  | MAR |
| 2009                                                    | 75.80  | 63.00           | 41.40  | 37.50  | 18.00  | 0.70            | 5.70  | 8.54   | 9.16       | 12.52   | 21.17     | 36.51     | 75.80  | ENE |
| 2010                                                    | 62.50  | 74.00           | 44.00  | 70.70  | 48.00  | 7.00            | 9.00  | 2.30   | 6.90       | 10.00   | 5.50      | 36.51     | 74.00  | FEB |
| MAX                                                     | 200.50 | 176.40          | 175.60 | 341.20 | 134.60 | 65.80           | 69.00 | 62.80  | 57.30      | 65.10   | 107.90    | 99.60     | 341.20 |     |

Para esto contamos con los datos de la estación pluviométrica más

cercana a la zona, es decir la estación Caluma, datos brindados por el INAMHI [14].

Para obtener la precipitación máxima diaria y el coeficiente (I1/Id), usaremos la hoja de cálculo de HidrojING creada por Jordi Oliveras [13].

**Tabla II. Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel**

| Nº        | Año  | Mes<br>Max. Precip. | Precipitación (mm) |                |
|-----------|------|---------------------|--------------------|----------------|
|           |      |                     | $x_i$              | $(x_i - x)^2$  |
| 1         | 1964 | MAR                 | 120.60             | 30.55          |
| 2         | 1965 | FEB                 | 147.30             | 1038.58        |
| 3         | 1966 | MAR                 | 97.00              | 326.63         |
| 4         | 1967 | MAR                 | 93.00              | 487.22         |
| 5         | 1968 | MAR                 | 81.70              | 1113.76        |
| 6         | 1969 | MAR                 | 87.80              | 743.82         |
| 7         | 1970 | MAY                 | 131.90             | 283.15         |
| 8         | 1971 | FEB                 | 107.90             | 51.45          |
| 9         | 1972 | ENE                 | 103.70             | 129.34         |
| 10        | 1973 | FEB                 | 107.30             | 60.42          |
| 11        | 1974 | MAR                 | 89.90              | 633.68         |
| 12        | 1975 | FEB                 | 95.90              | 367.60         |
| 13        | 1976 | MAR                 | 126.90             | 139.88         |
| 14        | 1977 | MAR                 | 104.20             | 118.22         |
| 15        | 1978 | ABR                 | 120.20             | 26.29          |
| 16        | 1979 | MAR                 | 93.70              | 456.80         |
| 17        | 1980 | ABR                 | 99.10              | 255.14         |
| 18        | 1981 | FEB                 | 75.40              | 1573.94        |
| 19        | 1982 | NOV                 | 107.90             | 51.45          |
| 20        | 1983 | ABR                 | 147.80             | 1071.06        |
| 21        | 1984 | MAR                 | 91.70              | 546.30         |
| 22        | 1985 | MAR                 | 102.40             | 160.60         |
| 23        | 1986 | ABR                 | 124.40             | 86.99          |
| 24        | 1987 | MAY                 | 134.60             | 381.30         |
| 25        | 1988 | ABR                 | 341.20             | 51133.43       |
| 26        | 1989 | FEB                 | 176.40             | 3761.00        |
| 27        | 1990 | AGO                 | 62.80              | 2732.46        |
| 28        | 1991 | MAR                 | 89.10              | 674.60         |
| 29        | 1992 | ENE                 | 200.50             | 7297.78        |
| 30        | 1993 | MAR                 | 169.00             | 2908.12        |
| 31        | 1994 | ENE                 | 120.20             | 26.29          |
| 32        | 1995 | ABR                 | 110.60             | 20.01          |
| 33        | 2006 | FEB                 | 111.50             | 12.77          |
| 34        | 2007 | FEB                 | 42.30              | 5295.91        |
| 35        | 2008 | MAR                 | 92.00              | 532.36         |
| 36        | 2009 | ENE                 | 75.80              | 1542.37        |
| 37        | 2010 | FEB                 | 74.00              | 1686.99        |
| <b>37</b> |      | <b>Suma</b>         | <b>4257.7</b>      | <b>87758.3</b> |

**Tabla III. Cálculo de variables probabilísticas**

| Cálculo variables probabilísticas                                          |  |
|----------------------------------------------------------------------------|--|
| $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 115.07 \text{ mm}$                         |  |
| $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 49.37 \text{ mm}$ |  |
| $\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 38.50 \text{ mm}$                     |  |
| $u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 92.85 \text{ mm}$                         |  |

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

[Ecuación 2]

**Tabla IV. Cálculo de precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias**

| Periodo Retorno | Variable Reducida | Precip. (mm) | Prob. de ocurrencia | Corrección intervalo fijo |
|-----------------|-------------------|--------------|---------------------|---------------------------|
| Años            | YT                | XT'(mm)      | F(xT)               | XT (mm)                   |
| 2               | 0.3665            | 106.9623     | 0.5000              | 120.8674                  |
| 5               | 1.4999            | 150.5950     | 0.8000              | 170.1724                  |
| 10              | 2.2504            | 179.4836     | 0.9000              | 202.8165                  |
| 25              | 3.1985            | 215.9845     | 0.9600              | 244.0625                  |
| 50              | 3.9019            | 243.0630     | 0.9800              | 274.6611                  |
| 100             | 4.6001            | 269.9415     | 0.9900              | 305.0338                  |
| 500             | 6.2136            | 332.0535     | 0.9980              | 375.2205                  |

**Tabla V. Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas (fuentes: D.F Campos A, 1978)**

| Duraciones, en horas |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 8    | 12   | 18   | 24   |
| 0.30                 | 0.39 | 0.46 | 0.52 | 0.57 | 0.61 | 0.68 | 0.80 | 0.91 | 1.00 |

**Tabla VI. Precipitación máxima Pd (mm) para tiempos de duración de 1 a 24 horas**

| Tiempo de Duración | Cociente  | Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración |          |          |          |          |          |          |
|--------------------|-----------|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                    |           | 2 años                                               | 5 años   | 10 años  | 25 años  | 50 años  | 100 años | 500 años |
| 24 hr              | X24 = 91% | 120.8674                                             | 170.1724 | 202.8165 | 244.0625 | 274.6611 | 305.0338 | 375.2205 |
| 18 hr              | X18 = 80% | 109.9893                                             | 154.8568 | 184.5630 | 195.2500 | 249.9416 | 277.5808 | 341.4507 |
| 12 hr              | X12 = 68% | 96.6939                                              | 136.1379 | 162.2532 | 195.2500 | 219.7289 | 244.0271 | 300.1764 |
| 8 hr               | X8 = 61%  | 82.1898                                              | 115.7172 | 137.9152 | 165.9625 | 186.7696 | 207.4230 | 255.1499 |
| 6 hr               | X6 = 57%  | 73.7291                                              | 103.8051 | 123.7181 | 148.8781 | 167.5433 | 186.0706 | 228.8845 |
| 5 hr               | X5 = 52%  | 68.8944                                              | 96.9982  | 115.6054 | 139.1156 | 156.5569 | 173.8693 | 213.8757 |
| 4 hr               | X4 = 46%  | 62.8511                                              | 88.4896  | 105.4646 | 126.9125 | 142.8238 | 158.6176 | 195.1147 |
| 3 hr               | X3 = 39%  | 55.5990                                              | 78.2793  | 93.2956  | 112.2688 | 126.3441 | 140.3156 | 172.6014 |
| 2 hr               | X2 = 30%  | 47.1383                                              | 66.3672  | 79.0984  | 95.1844  | 107.1178 | 118.9632 | 146.3360 |
| 1 hr               | X1 = 30%  | 36.2602                                              | 51.0517  | 60.8450  | 73.2188  | 82.3983  | 91.5102  | 112.5662 |

$$I = \frac{P}{t}$$

[Ecuación 3]

**Tabla VII. Intensidad de lluvia para tiempos de duración de 1 a 24 horas en diferentes tiempos de retorno**

| Tiempo de duración |      | Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el Periodo de Retorno |         |         |         |         |          |          |
|--------------------|------|-------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Hr                 | min  | 2 años                                                      | 5 años  | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años | 500 años |
| 24 hr              | 1440 | 5.0361                                                      | 7.0905  | 8.4507  | 10.1693 | 11.4442 | 12.7097  | 15.6342  |
| 18 hr              | 1080 | 6.1105                                                      | 8.6032  | 10.2535 | 10.8472 | 13.8856 | 15.4212  | 18.9695  |
| 12 hr              | 720  | 8.0578                                                      | 11.3448 | 13.5211 | 16.2708 | 18.3107 | 20.3356  | 25.0147  |
| 8 hr               | 480  | 10.2737                                                     | 14.4647 | 17.2394 | 20.7453 | 23.3462 | 25.9279  | 31.8937  |
| 6 hr               | 360  | 12.2882                                                     | 17.3009 | 20.6197 | 24.8130 | 27.9239 | 31.0118  | 38.1474  |
| 5 hr               | 300  | 13.7789                                                     | 19.3996 | 23.1211 | 27.8231 | 31.3114 | 34.7739  | 42.7751  |
| 4 hr               | 240  | 15.7128                                                     | 22.1224 | 26.3661 | 31.7281 | 35.7059 | 39.6544  | 48.7787  |
| 3 hr               | 180  | 18.5330                                                     | 26.0931 | 31.0985 | 37.4229 | 42.1147 | 46.7719  | 57.5338  |
| 2 hr               | 120  | 23.5691                                                     | 33.1836 | 39.5492 | 47.5922 | 53.5589 | 59.4816  | 73.1680  |
| 1 hr               | 60   | 36.2602                                                     | 51.0517 | 60.8450 | 73.2188 | 82.3983 | 91.5102  | 112.5662 |

Representación matemática de las curvas Intensidad – Duración – Periodo de retorno se obtiene mediante:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

[Ecuación 4]

En la cual:

- I:** Intensidad (mm/hr)  
**t:** Duración de la lluvia (min)  
**T:** Periodo de retorno (años)  
**K,m,n:** Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:

$$d = K \cdot T^m$$

[Ecuación 5]

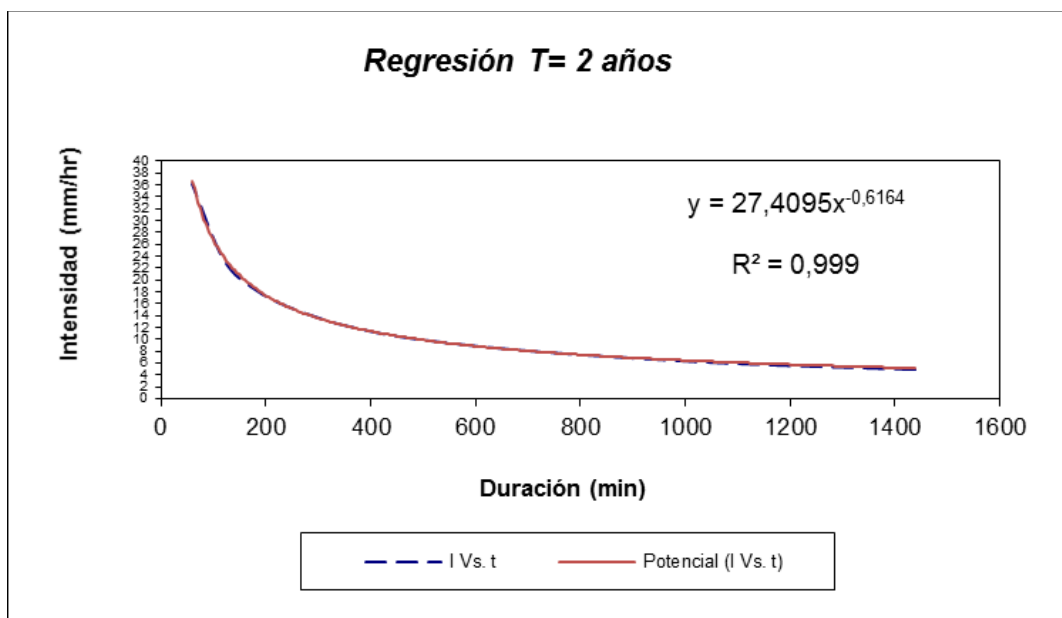
Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

[Ecuación 6]

**Tabla VIII. Periodo de retorno para T = 2 años**

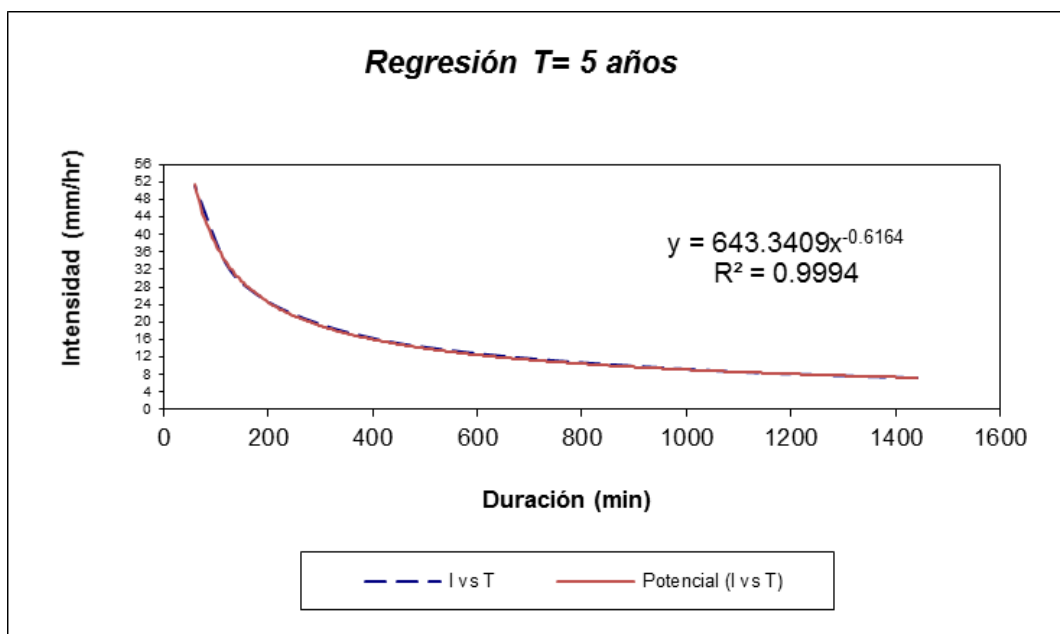
| Periodo de retorno para T = 2 años |      |          |         |         |           |          |  |         |
|------------------------------------|------|----------|---------|---------|-----------|----------|--|---------|
| Nº                                 | x    | y        | ln x    | ln y    | ln x*ln y | (lnx)^2  |  |         |
| 1                                  | 1440 | 5.0361   | 7.2724  | 1.6166  | 11.7569   | 52.8878  |  |         |
| 2                                  | 1080 | 6.1105   | 6.9847  | 1.8100  | 12.6424   | 48.7863  |  |         |
| 3                                  | 720  | 8.0578   | 6.5793  | 2.0866  | 13.7286   | 43.2865  |  |         |
| 4                                  | 480  | 10.2737  | 6.1738  | 2.3296  | 14.3824   | 38.1156  |  |         |
| 5                                  | 360  | 12.2882  | 5.8861  | 2.5086  | 14.7661   | 34.6462  |  |         |
| 6                                  | 300  | 13.7789  | 5.7038  | 2.6231  | 14.9618   | 32.5331  |  |         |
| 7                                  | 240  | 15.7128  | 5.4806  | 2.7545  | 15.0963   | 30.0374  |  |         |
| 8                                  | 180  | 18.5330  | 5.1930  | 2.9196  | 15.1611   | 26.9668  |  |         |
| 9                                  | 120  | 23.5691  | 4.7875  | 3.1599  | 15.1282   | 22.9201  |  |         |
| 10                                 | 60   | 36.2602  | 4.0943  | 3.5907  | 14.7017   | 16.7637  |  |         |
| 10                                 | 4980 | 149.6204 | 58.1555 | 25.3993 | 142.3253  | 346.9435 |  |         |
| $Ln(d) =$                          |      | 6.1246   | $d =$   |         | 456.9423  | $n =$    |  | -0.6164 |



**Figura 15. Grafica duración - intensidad para T=2 años**

**Tabla IX. Periodo de retorno para T = 5 años**

| Periodo de retorno para T = 5 años |      |               |            |         |                 |            |  |                |
|------------------------------------|------|---------------|------------|---------|-----------------|------------|--|----------------|
| Nº                                 | x    | y             | ln x       | ln y    | ln x*ln y       | (lnx)^2    |  |                |
| 1                                  | 1440 | 7.0905        | 7.2724     | 1.9588  | 14.2449         | 52.8878    |  |                |
| 2                                  | 1080 | 8.6032        | 6.9847     | 2.1521  | 15.0320         | 48.7863    |  |                |
| 3                                  | 720  | 11.3448       | 6.5793     | 2.4288  | 15.9794         | 43.2865    |  |                |
| 4                                  | 480  | 14.4647       | 6.1738     | 2.6717  | 16.4946         | 38.1156    |  |                |
| 5                                  | 360  | 17.3009       | 5.8861     | 2.8508  | 16.7798         | 34.6462    |  |                |
| 6                                  | 300  | 19.3996       | 5.7038     | 2.9653  | 16.9132         | 32.5331    |  |                |
| 7                                  | 240  | 22.1224       | 5.4806     | 3.0966  | 16.9713         | 30.0374    |  |                |
| 8                                  | 180  | 26.0931       | 5.1930     | 3.2617  | 16.9377         | 26.9668    |  |                |
| 9                                  | 120  | 33.1836       | 4.7875     | 3.5021  | 16.7661         | 22.9201    |  |                |
| 10                                 | 60   | 51.0517       | 4.0943     | 3.9328  | 16.1024         | 16.7637    |  |                |
| 10                                 | 4980 | 210.6545      | 58.1555    | 28.8205 | 162.2214        | 346.9435   |  |                |
| <b>Ln (d) =</b>                    |      | <b>6.4667</b> | <b>d =</b> |         | <b>643.3409</b> | <b>n =</b> |  | <b>-0.6164</b> |

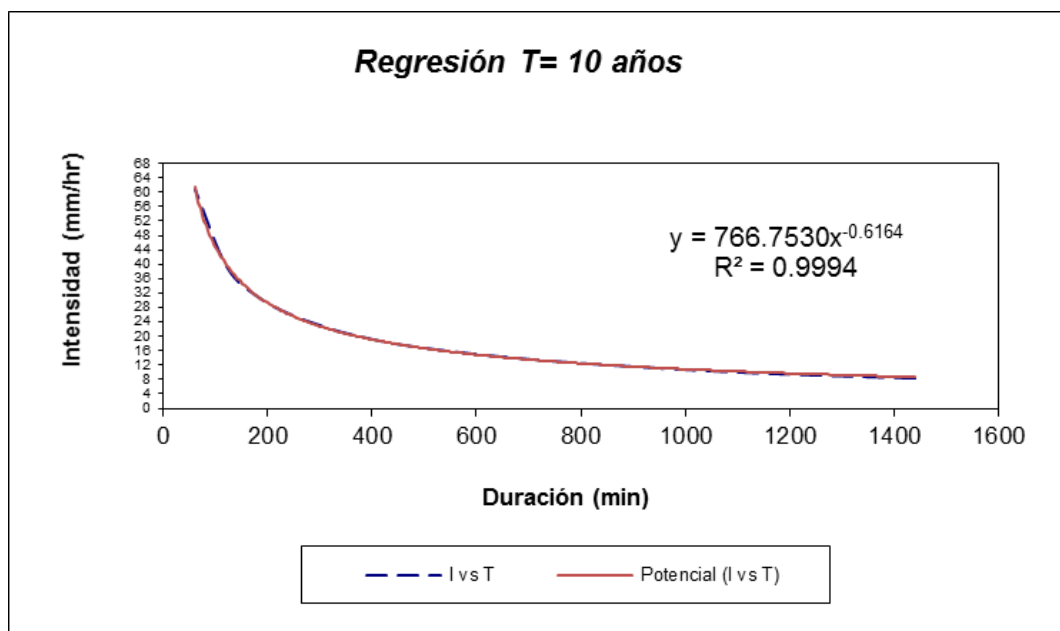


**Figura 16. Grafica duración - intensidad para T=5 años**



**Tabla X. Periodo de retorno para T = 10 años**

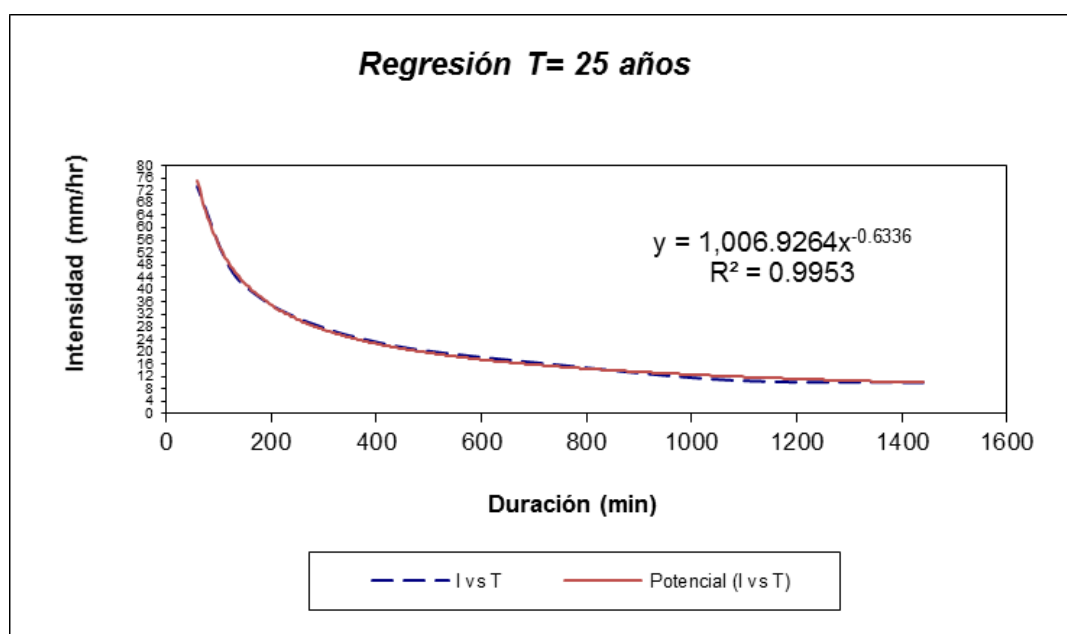
| Periodo de retorno para T = 10 años |      |               |            |         |                 |            |  |                |
|-------------------------------------|------|---------------|------------|---------|-----------------|------------|--|----------------|
| Nº                                  | x    | y             | ln x       | ln y    | ln x*ln y       | (lnx)^2    |  |                |
| 1                                   | 1440 | 8.4507        | 7.2724     | 2.1342  | 15.5211         | 52.8878    |  |                |
| 2                                   | 1080 | 10.2535       | 6.9847     | 2.3276  | 16.2578         | 48.7863    |  |                |
| 3                                   | 720  | 13.5211       | 6.5793     | 2.6043  | 17.1340         | 43.2865    |  |                |
| 4                                   | 480  | 17.2394       | 6.1738     | 2.8472  | 17.5780         | 38.1156    |  |                |
| 5                                   | 360  | 20.6197       | 5.8861     | 3.0262  | 17.8128         | 34.6462    |  |                |
| 6                                   | 300  | 23.1211       | 5.7038     | 3.1407  | 17.9141         | 32.5331    |  |                |
| 7                                   | 240  | 26.3661       | 5.4806     | 3.2721  | 17.9331         | 30.0374    |  |                |
| 8                                   | 180  | 31.0985       | 5.1930     | 3.4372  | 17.8490         | 26.9668    |  |                |
| 9                                   | 120  | 39.5492       | 4.7875     | 3.6775  | 17.6062         | 22.9201    |  |                |
| 10                                  | 60   | 60.8450       | 4.0943     | 4.1083  | 16.8209         | 16.7637    |  |                |
| 10                                  | 4980 | 251.0643      | 58.1555    | 30.5754 | 172.4271        | 346.9435   |  |                |
| <b>Ln (d) =</b>                     |      | <b>6.6422</b> | <b>d =</b> |         | <b>766.7530</b> | <b>n =</b> |  | <b>-0.6164</b> |



**Figura 17. Grafica duración - intensidad para T=10 años**

**Tabla XI. Periodo de retorno para T = 25 años**

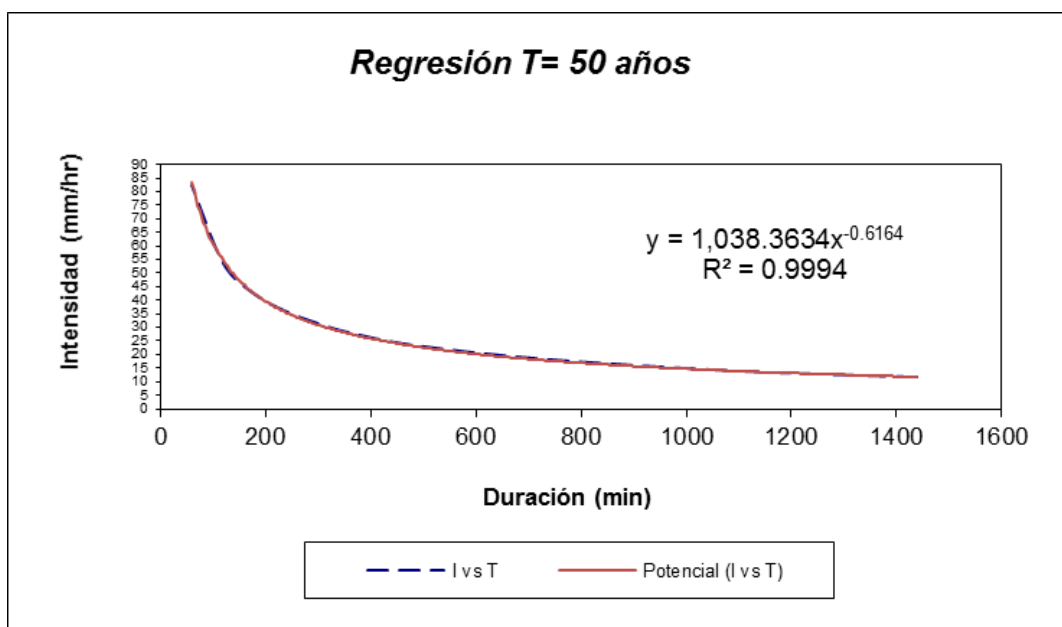
| <i>Periodo de retorno para T = 25 años</i> |      |                      |         |                    |           |          |
|--------------------------------------------|------|----------------------|---------|--------------------|-----------|----------|
| Nº                                         | x    | y                    | ln x    | ln y               | ln x*ln y | (lnx)^2  |
| 1                                          | 1440 | 10.1693              | 7.2724  | 2.3194             | 16.8674   | 52.8878  |
| 2                                          | 1080 | 10.8472              | 6.9847  | 2.3839             | 16.6509   | 48.7863  |
| 3                                          | 720  | 16.2708              | 6.5793  | 2.7894             | 18.3520   | 43.2865  |
| 4                                          | 480  | 20.7453              | 6.1738  | 3.0323             | 18.7209   | 38.1156  |
| 5                                          | 360  | 24.8130              | 5.8861  | 3.2114             | 18.9024   | 34.6462  |
| 6                                          | 300  | 27.8231              | 5.7038  | 3.3259             | 18.9700   | 32.5331  |
| 7                                          | 240  | 31.7281              | 5.4806  | 3.4572             | 18.9477   | 30.0374  |
| 8                                          | 180  | 37.4229              | 5.1930  | 3.6223             | 18.8104   | 26.9668  |
| 9                                          | 120  | 47.5922              | 4.7875  | 3.8627             | 18.4925   | 22.9201  |
| 10                                         | 60   | 73.2188              | 4.0943  | 4.2935             | 17.5789   | 16.7637  |
| 10                                         | 4980 | 300.6308             | 58.1555 | 32.2978            | 182.2931  | 346.9435 |
| <b>Ln (d) = 6.9147</b>                     |      | <b>d = 1006.9264</b> |         | <b>n = -0.6336</b> |           |          |



**Figura 18. Grafica duración - intensidad para T=25 años**

**Tabla XII. Periodo de retorno para T = 50 años**

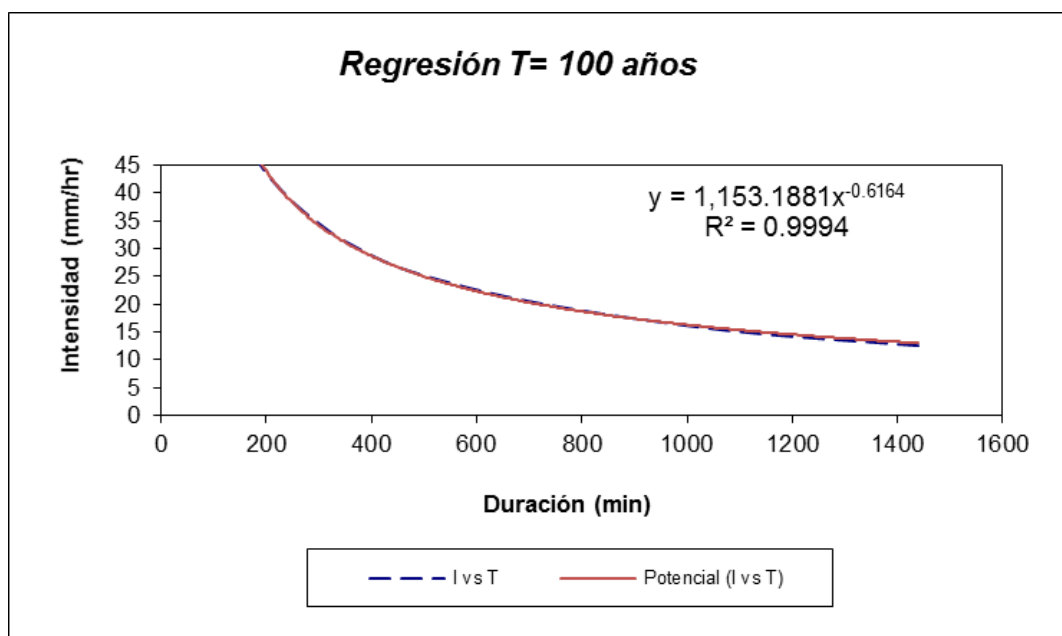
| Periodo de retorno para T = 50 años |      |               |            |                  |            |                |
|-------------------------------------|------|---------------|------------|------------------|------------|----------------|
| Nº                                  | x    | y             | ln x       | ln y             | ln x*ln y  | (lnx)^2        |
| 1                                   | 1440 | 11.4442       | 7.2724     | 2.4375           | 17.7264    | 52.8878        |
| 2                                   | 1080 | 13.8856       | 6.9847     | 2.6309           | 18.3758    | 48.7863        |
| 3                                   | 720  | 18.3107       | 6.5793     | 2.9075           | 19.1291    | 43.2865        |
| 4                                   | 480  | 23.3462       | 6.1738     | 3.1504           | 19.4501    | 38.1156        |
| 5                                   | 360  | 27.9239       | 5.8861     | 3.3295           | 19.5977    | 34.6462        |
| 6                                   | 300  | 31.3114       | 5.7038     | 3.4440           | 19.6437    | 32.5331        |
| 7                                   | 240  | 35.7059       | 5.4806     | 3.5753           | 19.5950    | 30.0374        |
| 8                                   | 180  | 42.1147       | 5.1930     | 3.7404           | 19.4237    | 26.9668        |
| 9                                   | 120  | 53.5589       | 4.7875     | 3.9808           | 19.0580    | 22.9201        |
| 10                                  | 60   | 82.3983       | 4.0943     | 4.4116           | 18.0625    | 16.7637        |
| 10                                  | 4980 | 340.0000      | 58.1555    | 33.6078          | 190.0619   | 346.9435       |
| <b>Ln (d) =</b>                     |      | <b>6.9454</b> | <b>d =</b> | <b>1038.3634</b> | <b>n =</b> | <b>-0.6164</b> |



**Figura 19. Grafica duración - intensidad para T=50 años**

**Tabla XIII. Periodo de retorno para T = 100 años**

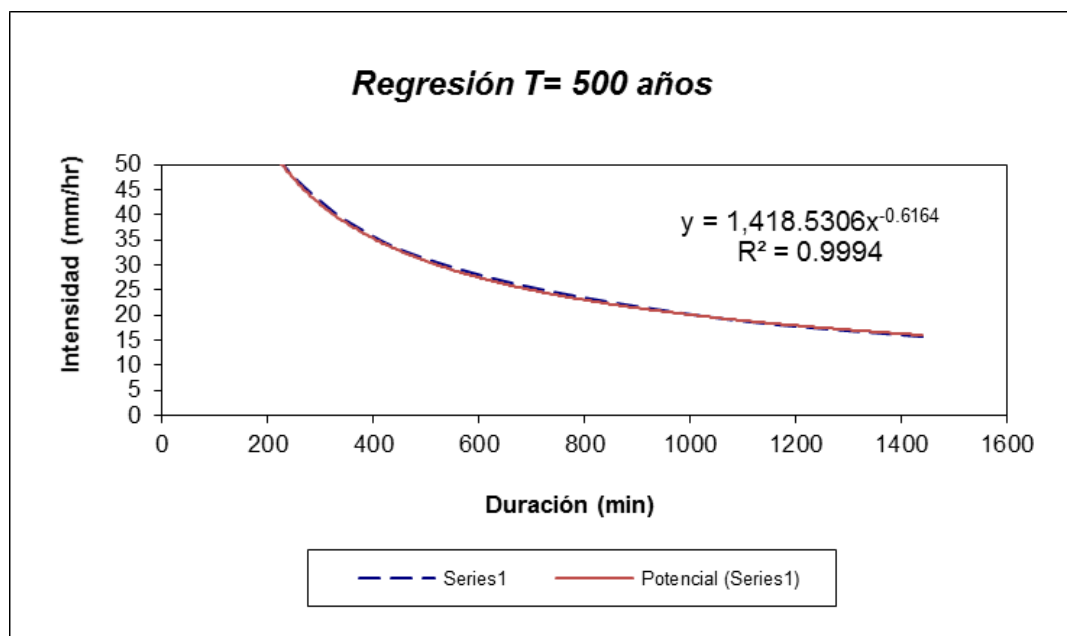
| Periodo de retorno para T = 100 años |      |                      |         |                    |           |          |
|--------------------------------------|------|----------------------|---------|--------------------|-----------|----------|
| Nº                                   | x    | y                    | ln x    | ln y               | ln x*ln y | (lnx)^2  |
| 1                                    | 1440 | 12.7097              | 7.2724  | 2.5424             | 18.4891   | 52.8878  |
| 2                                    | 1080 | 15.4212              | 6.9847  | 2.7357             | 19.1084   | 48.7863  |
| 3                                    | 720  | 20.3356              | 6.5793  | 3.0124             | 19.8192   | 43.2865  |
| 4                                    | 480  | 25.9279              | 6.1738  | 3.2553             | 20.0976   | 38.1156  |
| 5                                    | 360  | 31.0118              | 5.8861  | 3.4344             | 20.2150   | 34.6462  |
| 6                                    | 300  | 34.7739              | 5.7038  | 3.5489             | 20.2420   | 32.5331  |
| 7                                    | 240  | 39.6544              | 5.4806  | 3.6802             | 20.1699   | 30.0374  |
| 8                                    | 180  | 46.7719              | 5.1930  | 3.8453             | 19.9684   | 26.9668  |
| 9                                    | 120  | 59.4816              | 4.7875  | 4.0857             | 19.5601   | 22.9201  |
| 10                                   | 60   | 91.5102              | 4.0943  | 4.5164             | 18.4919   | 16.7637  |
| 10                                   | 4980 | 377.5980             | 58.1555 | 34.6566            | 196.1615  | 346.9435 |
| <b>Ln (d) = 7.0503</b>               |      | <b>d = 1153.1881</b> |         | <b>n = -0.6164</b> |           |          |



**Figura 20. Grafica duración - intensidad para T=100 años**

**Tabla XIV. Periodo de retorno para T = 500 años**

| <i>Periodo de retorno para T = 500 años</i> |      |               |            |         |                  |            |  |                |
|---------------------------------------------|------|---------------|------------|---------|------------------|------------|--|----------------|
| Nº                                          | x    | y             | ln x       | ln y    | ln x*ln y        | (lnx)^2    |  |                |
| 1                                           | 1440 | 15.6342       | 7.2724     | 2.7495  | 19.9952          | 52.8878    |  |                |
| 2                                           | 1080 | 18.9695       | 6.9847     | 2.9428  | 20.5548          | 48.7863    |  |                |
| 3                                           | 720  | 25.0147       | 6.5793     | 3.2195  | 21.1817          | 43.2865    |  |                |
| 4                                           | 480  | 31.8937       | 6.1738     | 3.4624  | 21.3762          | 38.1156    |  |                |
| 5                                           | 360  | 38.1474       | 5.8861     | 3.6415  | 21.4340          | 34.6462    |  |                |
| 6                                           | 300  | 42.7751       | 5.7038     | 3.7560  | 21.4232          | 32.5331    |  |                |
| 7                                           | 240  | 48.7787       | 5.4806     | 3.8873  | 21.3048          | 30.0374    |  |                |
| 8                                           | 180  | 57.5338       | 5.1930     | 4.0524  | 21.0438          | 26.9668    |  |                |
| 9                                           | 120  | 73.1680       | 4.7875     | 4.2928  | 20.5515          | 22.9201    |  |                |
| 10                                          | 60   | 112.5662      | 4.0943     | 4.7235  | 19.3398          | 16.7637    |  |                |
| 10                                          | 4980 | 464.4813      | 58.1555    | 36.7275 | 208.2050         | 346.9435   |  |                |
| <i>Ln (d) =</i>                             |      | <i>7.2574</i> | <i>d =</i> |         | <i>1418.5306</i> | <i>n =</i> |  | <i>-0.6164</i> |



**Figura 21. Grafica duración - intensidad para T=500 años**

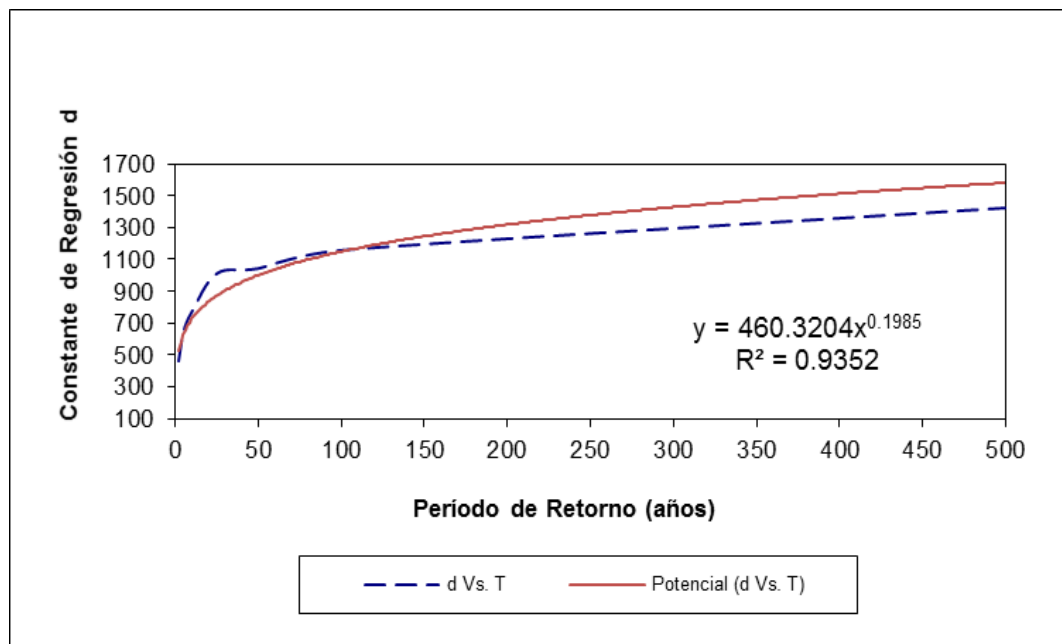
**Tabla XV. Resumen de aplicación de regresión lineal en los diferentes tiempos de retorno**

| <i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i> |                                |                        |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Periodo de Retorno (años)                           | Término ctte. de regresión (d) | Coef. de regresión [n] |
| 2                                                   | 456.94229099011                | -0.61638608809         |
| 5                                                   | 643.34089257990                | -0.61638608809         |
| 10                                                  | 766.75298590985                | -0.61638608809         |
| 25                                                  | 1006.92638983671               | -0.63362500463         |
| 50                                                  | 1038.36339264924               | -0.61638608809         |
| 100                                                 | 1153.18813747028               | -0.61638608809         |
| 500                                                 | 1418.53059386036               | -0.61638608809         |
| Promedio =                                          | 926.29209761378                | -0.61884879045         |

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la [Ecuación 5]:

**Tabla XVI. Regresión potencial**

| <i>Regresión potencial</i>                  |     |                     |         |                   |           |         |
|---------------------------------------------|-----|---------------------|---------|-------------------|-----------|---------|
| Nº                                          | x   | y                   | ln x    | ln y              | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1                                           | 2   | 456.9423            | 0.6931  | 6.1246            | 4.2452    | 0.4805  |
| 2                                           | 5   | 643.3409            | 1.6094  | 6.4667            | 10.4077   | 2.5903  |
| 3                                           | 10  | 766.7530            | 2.3026  | 6.6422            | 15.2941   | 5.3019  |
| 4                                           | 25  | 1006.9264           | 3.2189  | 6.9147            | 22.2574   | 10.3612 |
| 5                                           | 50  | 1038.3634           | 3.9120  | 6.9454            | 27.1706   | 15.3039 |
| 6                                           | 100 | 1153.1881           | 4.6052  | 7.0503            | 32.4678   | 21.2076 |
| 7                                           | 500 | 1418.5306           | 6.2146  | 7.2574            | 45.1018   | 38.6214 |
| 7                                           | 692 | 6484.0447           | 22.5558 | 47.4011           | 156.9446  | 93.8667 |
| <b>Ln (K) = 6.1319</b>                      |     | <b>K = 460.3204</b> |         | <b>m = 0.1985</b> |           |         |
| <b>Termino constante de regresión (K) =</b> |     |                     |         | <b>460.3204</b>   |           |         |
| <b>Coef. de regresión (m) =</b>             |     |                     |         | <b>0.198514</b>   |           |         |



**Figura 22. Grafica periodo de retorno - Constante de regresión d**

Remplazando los parámetros K, m, n en la [Ecuación 4] se obtiene la ecuación de intensidad válida para nuestra cuenca:

$$I = \frac{460.3204 \cdot T^{0.198514}}{t^{0.61885}}$$

Dónde:

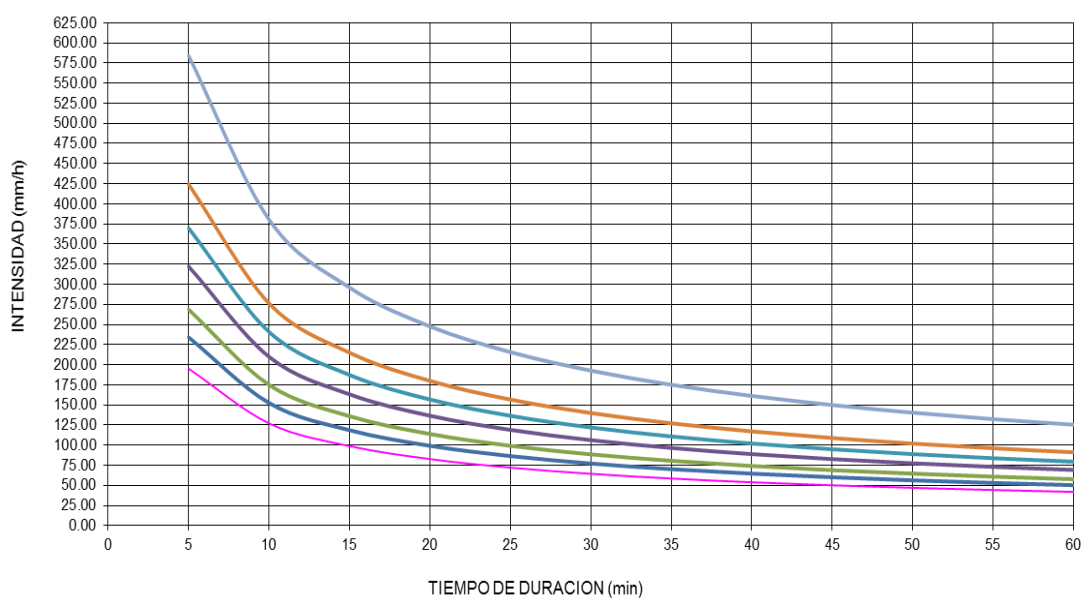
I: intensidad de precipitación (mm/hr)

T: Periodo de Retorno (años)

t: Tiempo de duración de precipitación (min)

**Tabla XVII. Intensidades-tiempo de duración**

| Tabla de intensidades - Tiempo de duración |                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Frecuencia<br>años                         | Duración en minutos |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                                            | 5                   | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     | 50     | 55     | 60     |
| 2                                          | 195.10              | 127.05 | 98.85  | 82.73  | 72.06  | 64.37  | 58.52  | 53.87  | 50.09  | 46.93  | 44.24  | 41.92  |
| 5                                          | 234.02              | 152.39 | 118.57 | 99.24  | 86.44  | 77.21  | 70.19  | 64.62  | 60.08  | 56.29  | 53.06  | 50.28  |
| 10                                         | 268.55              | 174.87 | 136.07 | 113.88 | 99.19  | 88.61  | 80.54  | 74.16  | 68.94  | 64.59  | 60.89  | 57.70  |
| 25                                         | 322.12              | 209.76 | 163.21 | 136.59 | 118.98 | 106.28 | 96.61  | 88.95  | 82.70  | 77.48  | 73.04  | 69.21  |
| 50                                         | 369.64              | 240.70 | 187.29 | 156.74 | 136.53 | 121.96 | 110.86 | 102.07 | 94.89  | 88.90  | 83.81  | 79.42  |
| 100                                        | 424.16              | 276.21 | 214.91 | 179.87 | 156.67 | 139.95 | 127.22 | 117.13 | 108.89 | 102.02 | 96.18  | 91.13  |
| 500                                        | 583.83              | 380.19 | 295.82 | 247.57 | 215.64 | 192.63 | 175.11 | 161.22 | 149.88 | 140.42 | 132.38 | 125.44 |

**Figura 23. Curvas IDF de la cuenca para diferentes Periodos de retorno (Tiempo de duración - Intensidad)**

#### 4.1.2 Método Témez

Para la determinación del coeficiente de uniformidad (K) se empleara la siguiente formula.



$$K=1+\frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25}+14}$$

[Ecuación 7]

Dónde:

T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración (horas)

El tiempo de concentración (T<sub>c</sub>) se lo calcula mediante el Método de Kirpich.

$$T_c=0.01947.L^{0.77}.S^{-0.385}$$

[Ecuación 8]

Dónde:

L: Longitud del cauce desde aguas arriba hasta el punto de aforo.

S: Pendiente promedio de la cuenca.

Cabe indicar que los valores L y S son obtenidos por medio del software ArcGis.

**Tabla XVIII. Datos para cálculo de caudal obtenidas del software ArcGis**

| L (m)    | COTA MÁXIMA<br>(m) | COTA MÍNIMA<br>(m) | S (m/m) |
|----------|--------------------|--------------------|---------|
| 42720.00 | 3200               | 80                 | 0.073   |

Por lo tanto el tiempo de concentración es:

$$T_c = 196.14 \text{ minutos}$$

Dado que el tiempo de concentración obtenido por el método de Kirpich se encuentra en minutos es necesario realizar la conversión a horas, obteniéndose:

$$T_c = 3.27 \text{ horas}$$

Habiendo obtenido el tiempo de concentración se procede a calcular el coeficiente de uniformidad.

$$K = 1.24$$

Para determinar el valor de la Intensidad de precipitación (I) se debe aplicar la siguiente formula:

$$I = \frac{P}{24} \cdot \frac{I_1 \cdot \frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}{I_d}$$

[Ecuación 9]

Dónde:

**P:** Precipitación máxima corregida (mm)

**Tc:** Tiempo de concentración (horas)

Para esto la precipitación máxima corregida se la obtiene de:

$$P = K_A P_d$$

[Ecuación 10]

Dónde:

**K<sub>A</sub>:** Factor Reductor

**P<sub>d</sub>:** Precipitación máxima diaria (mm)

Tomamos P<sub>d</sub> de la Tabla VI para un periodo de retorno de 25 años y un tiempo de duración de 24 horas.

|                                  |
|----------------------------------|
| <b>P<sub>d</sub> = 244.06 mm</b> |
|----------------------------------|

El factor reductor o coeficiente de simultaneidad (K<sub>A</sub>) se lo obtiene mediante:

$$K_A = 1 - \log_{10} \frac{A}{15}$$

[Ecuación 11]

Dónde:

A: Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

El área de la cuenca obtenida mediante ArcGis es  $A = 332.30 \text{ km}^2$ :

$$K_A = 0.83$$

La precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P) sería:

$$P = 202.57 \text{ mm}$$

Ahora es necesario determinar el coeficiente  $I1/I_d$

Dónde:

$I1$ : Intensidad en una hora

$I_d$ : Intensidad de un día

El  $I1$  se obtiene de la tabla XVII

$$I1 = 69.21 \text{ mm/h}$$

El  $I_d$  se obtiene mediante:

$$I_d = P_{\text{máx día}} / 24$$

[Ecuación 12]

Donde  $P_{\text{máx}} = P_d$

$$P_{\text{máx día}} = 244.06 \text{ mm}$$

$$I_d = 10.17 \text{ mm/hora}$$

Por lo tanto:

$$I/I_d = 6.80$$

Entonces:

$$I = 31.19$$

El último factor a considerar es el coeficiente de escorrentía (C)

$$C = \frac{(Pd - Po) \cdot (Pd + 23 \cdot Po)}{(Pd + 11 \cdot Po)^2}$$

[Ecuación 13]

Dónde:

Pd: Precipitación máxima diaria (mm)

Po: Umbral de escorrentía =  $(5000/CN) - 50$

CN: Numero de curva.

De acuerdo a Témez los suelos se clasifican en:

**Grupo A:** En ellos el agua se infiltra rápidamente aun cuando estén muy húmedos. Profundos y de textura gruesa (arenosas o arenolimosas), están excesivamente drenados.

**Grupo B:** Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad de suelo es de media a profunda, y su textura franco-arenosa, franca, franca-arcillosa o franco-limosa según terminología del U.S. Departamento of Agriculture. Están bien o moderadamente drenados.

**Grupo C:** Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad de suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, franco-arcillosa-limosa, limosa o arcillo-arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.

**Grupo D:** Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximo a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. También se incluyen aquí los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos) [15].

De la descripción de suelos antes mencionada se concluye que el suelo se encuentra en el Grupo A y tomando en cuenta que la cuenca está conformada por: 19.38% de cultivos; 66.17% pasto y vegetación ligera; 14.45% de bosques, datos en base a la información obtenida del MAGAP, el valor de CN=54, considerando que en su mayoría son pastizales y promediando entre las condiciones óptimas y pobres [16].

**Tabla XIX. Obtención del número de curva CN**

| DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA                                                                                                                                                         | GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO |          |          |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|
|                                                                                                                                                                                          | A                           | B        | C        | D        |
| Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación<br>con tratamiento de conservación                                                                                      | 72<br>62                    | 81<br>71 | 88<br>78 | 91<br>81 |
| Pastizales: condiciones pobres<br>condiciones óptimas                                                                                                                                    | 68<br>39                    | 79<br>61 | 86<br>74 | 89<br>80 |
| Vegas de ríos: condiciones óptimas                                                                                                                                                       | 30                          | 58       | 71       | 78       |
| Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,<br>cubierta buena <sup>2</sup>                                                                                                   | 45<br>25                    | 66<br>55 | 77<br>70 | 83<br>77 |
| Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.<br>óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más<br>condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75% | 39<br>49                    | 61<br>69 | 74<br>79 | 80<br>84 |
| Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)                                                                                                                                         | 89                          | 92       | 94       | 95       |
| Distritos Industriales (72% impermeables)                                                                                                                                                | 81                          | 88       | 91       | 93       |
| Residencial <sup>3</sup> :                                                                                                                                                               |                             |          |          |          |
| Tamaño promedio del lote      Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>                                                                                                               |                             |          |          |          |
| 1/8 acre o menos                      65                                                                                                                                                 | 77                          | 85       | 90       | 92       |
| 1/4 acre                                      38                                                                                                                                         | 61                          | 75       | 83       | 87       |
| 1/3 acre                                      30                                                                                                                                         | 57                          | 72       | 81       | 86       |
| 1/2 acre                                      25                                                                                                                                         | 54                          | 70       | 80       | 85       |
| 1 acre                                        20                                                                                                                                         | 51                          | 68       | 79       | 84       |
| Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>                                                                                                                            | 98                          | 98       | 98       | 98       |
| Calles y carreteras:                                                                                                                                                                     |                             |          |          |          |
| Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>                                                                                                                                  | 98                          | 98       | 98       | 98       |
| Grava                                                                                                                                                                                    | 78                          | 85       | 89       | 91       |
| Tierra                                                                                                                                                                                   | 72                          | 82       | 87       | 89       |

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje, Perú.

Con lo cual:

|                      |
|----------------------|
| <b>Po = 42.59 mm</b> |
|----------------------|



Por lo tanto:

$$\mathbf{C = 0.49 \text{ mm}}$$

Remplazando todos los parámetros en la [Ecuación 1] se obtiene:

$$\mathbf{Q = 1749.29 \text{ m}^3/\text{s}}$$

El caudal obtenido en este capítulo permite notar el gran aporte que la cuenca brinda al punto de aforo, al momento de presentarse crecidas, habiéndose tomado una lluvia de 24 horas para un periodo de retorno de 25 años.

# **CAPÍTULO V**

## **5 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL**

### **5.1 Ensayos Realizados**

Se presenta el análisis granulométrico, plasticidad, proctor entre otras, de muestras tomadas del cauce así como también de la terraza indiferenciada.

Además se encontraron rocas de tamaño considerable, a las que no se les podía realizar el ensayo de granulometría por lo que se procedió a

medirlas con el fin de dar a conocer todos los diámetros del material.



**Figura 24. Toma de muestras para realizar ensayos (Terraza Indiferenciada)**



**Figura 25.** Toma de muestras para realizar ensayos (Lecho de río)

### **5.1.1 Análisis de los Ensayos**

El material encontrado en la terraza indiferenciada, según el Sistema

Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), corresponde a una grava mal graduada con limo.

Dado que el porcentaje de finos (pasante de la malla N° 200) corresponde a un 9.78% es decir está en un rango entre el 5 y 12 % se tuvo que realizar ambos análisis es decir curva granulométrica y límites de Atterberg obteniendo una doble simbología GP-GM.

Los datos obtenidos de la muestra son  $C_u = 33.57$  y  $C_c = 0.3$ .

Los límites de consistencia son:

- Limite Líquido (LL) = 36%
- Limite Plástico (LP) = 33%
- Índice Plástico (IP) = 3
- La humedad presente fue de 13.35%

Además se realizó el ensayo Proctor Modificado para determinar la compactación máxima del terreno en relación con su grado de humedad que es una de las pruebas más importante dentro de los procedimientos de estudio y control de calidad al momento de realizar una obra (Ver ANEXO 2).

El Proctor arrojó los siguientes resultados:

- Densidad Seca Máxima = 1,981 kg/m<sup>3</sup>
- Humedad Óptima = 12.2%.

El material encontrado en el lecho del río, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), corresponde a una arena, dado que la mayor parte del material pasa la malla N°4, para conocer si la arena es bien graduada debe cumplir lo siguiente; SW:  $C_u > 6$ ,  $C_c$  entre 1 y 3 además el porcentaje de finos debe ser menor al 5%.

Los datos obtenidos de la muestra son  $C_u = 33.57$  y  $C_c = 0.3$  y el porcentaje de finos (pasante de la malla N° 200) corresponde a un 4.39% razón por la que se realizó únicamente la curva granulométrica. La simbología correspondiente es SP (Ver ANEXO 2).

El Proctor arrojó los siguientes resultados:

- Densidad Seca Máxima = 2,168 kg/m<sup>3</sup>
- Humedad Óptima = 7.3%

## 5.2 Dimensionamiento de Rocas Tamaño Superior a 8''

Material medido in situ a los que no se les pudo realizar análisis granulométrico debido a su tamaño:



**Figura 26.** Rocas de diámetro de 40 y 63 cm



**Figura 27.** Rocas de diámetro de 70 y 87 cm



**Figura 28.** Roca de diámetro de 50 x 60 cm



**Figura 29.** Roca de diámetro de 74 x 66 cm







**Figura 30.** Roca de diámetro de 3.30 x 2.20 m

# **CAPÍTULO VI**

## **6. PLANTEAMIENTO Y DISEÑO DE LAS POSIBLES SOLUCIONES**

Antes de proceder a la realización del diseño de las posibles soluciones es necesario dejar claro el impacto ambiental que se ha producido en el sector debido a la explotación antitécnica:

## **6.1 Impacto Ambiental**

### **6.1.1 Paisaje y Suelo**

La mayor parte de los suelos de esta zona se han desarrollado sobre materiales limosos. El paisaje está constituido por lomas de baja a mediana altura, antes formados por bosques que han desaparecido debido a la explotación para dar lugar a una extensa playa de material pétreo de diferentes tamaños.

Los suelos desnudos son los más susceptibles a los procesos erosivos por la acción de los vientos y agua, especialmente en la zona de alta pendiente correspondiente a la terraza diferenciada.

### **6.1.2 Ruido**

La contaminación acústica es bastante considerable debido al uso de excavadoras para la explotación y cargada del material pétreo, así como el uso de cribas para la separación de los diferentes diámetros de material, además se ha utilizado voladuras para debilitar el terreno.

### **6.1.3 Fauna**

De acuerdo a información obtenida de los moradores en el sector existían los siguientes animales silvestres: perico, gavilán, perdiz, negro garrapatero, negro fino, carpinteros, colibríes, palomas, ardillas, iguanas, entre otras, los mismos que han tenido que migrar a otras zonas que aún mantienen cobertura boscosa. Además de estos animales una gran variedad de peces ha desaparecido del sector, encontrándoselos cada vez más aguas arriba, debido a que el cauce ya no mantiene la misma profundidad que antes por las alteraciones en su curso, lo cual dificulta la pesca para los habitantes del sector que estaban acostumbrados a encontrar barbudos, raspabalsas entre otros a pocos metros de su casas.

### **6.1.4 Flora**

Según los habitantes la vegetación que predominaba en el sector era la siguiente: Beldaco, laurel, pechiche, Matapalo, Bijao y en los márgenes del río se podía encontrar: caña guadua (Bambú), platanillo y chilca.

## 6.2 Condiciones de Cimentación

Antes de realizar cualquier tipo de solución se realizarán algunos análisis de estabilidad del talud, para conocer si en las condiciones en las que se encuentra este (casi vertical) es posible un deslizamiento. En el primer análisis habrá ausencia de nivel freático y en el segundo con el nivel freático al mismo nivel del terreno es decir considerando la crecida del río (inundación).

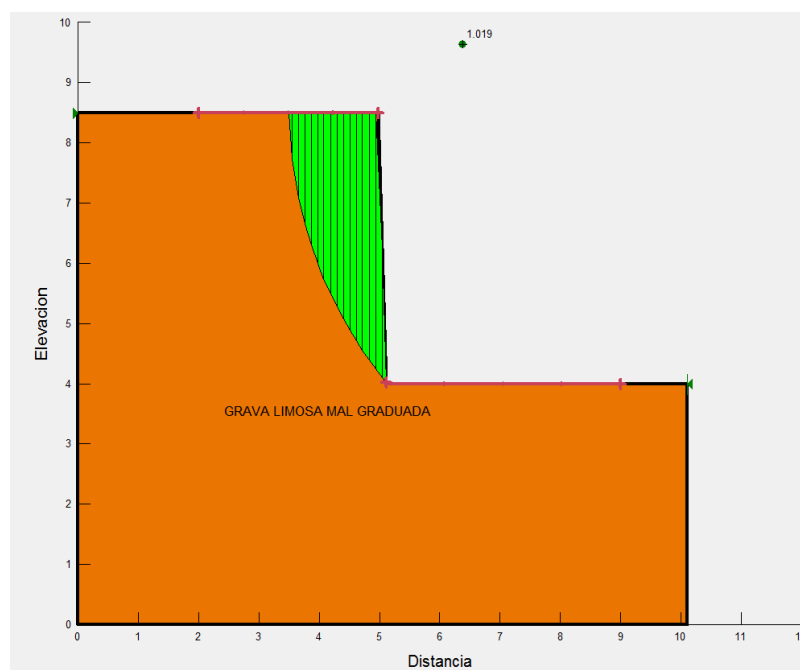
Para esto nos valdremos del software GeoStudio 2007 (Slope/W), este analiza la zona de falla tomando en cuenta métodos como son el de Fellenius (ordinario) y Bishop en los que se considera un factor de seguridad mínimo (FS) que va desde 1.5 para algunos autores y de 2 para otros, este análisis nos da el resultado más crítico (para cada método) y nos permite conocer su factor de seguridad y por consiguiente la estabilidad del mismo.

Como se conoce el porcentaje de grava (48.3%), arena (41.9%) y limo (9.78%) que tiene nuestra terraza dado a los ensayos realizados previamente, se adoptara un valor de  $\gamma = 1.90 \text{ T/m}^3$ ,  $\phi = 35^\circ$  según la Tabla XX, y  $C = 1 \text{ T/m}^2$  debido a la presencia de finos [17].

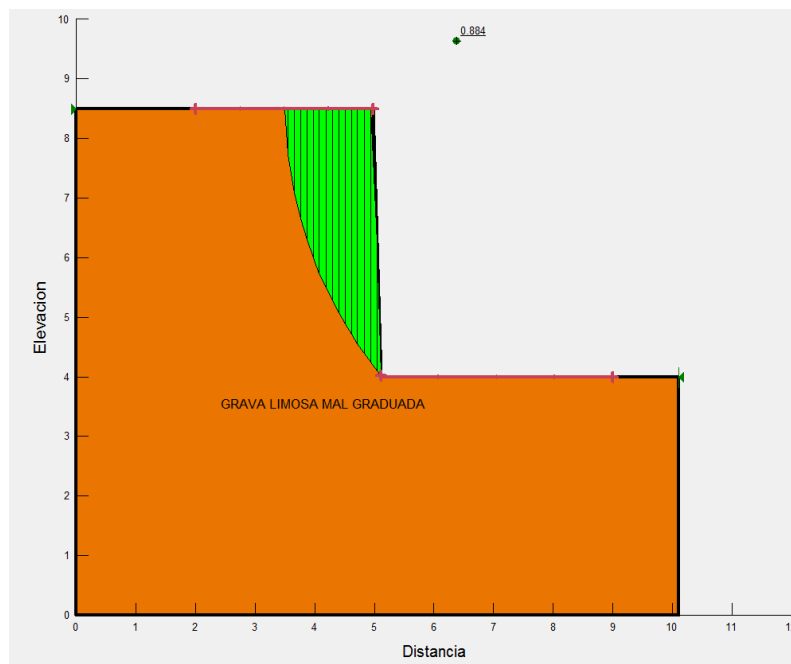
**Tabla XX. Características físicas típicas de diversos suelos**

| TIPO DE SUELO            | $\gamma$<br>(T/m <sup>3</sup> ) | $\phi$<br>(grados) | $c$<br>(T/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Bloques y bolos sueltos  | 1.70                            | 35-40°             | -                          |
| Grava                    | 1.70                            | 37.5°              | -                          |
| Grava arenosa            | 1.90                            | 35°                | -                          |
| Arena compacta           | 1.90                            | 32.5-35°           | -                          |
| Arena semicompacta       | 1.80                            | 30-32.5°           | -                          |
| Arena suelta             | 1.70                            | 27.5-30°           | -                          |
| Limo firme               | 2.00                            | 27.5°              | 1-5                        |
| Limo                     | 1.90                            | 25°                | 1-5                        |
| Limo blando              | 1.80                            | 22.5°              | 1-2.5                      |
| Marga arenosa rígida     | 2.20                            | 30°                | 20-70                      |
| Arcilla arenosa firme    | 1.90                            | 25°                | 10-20                      |
| Arcilla media            | 1.80                            | 20°                | 5-10                       |
| Arcilla blanda           | 1.70                            | 17.5               | 2-5                        |
| Fango blando arcilloso   | 1.40                            | 15°                | 1-2                        |
| Suelos orgánicos (turba) | 1.10                            | 10-15°             | -                          |

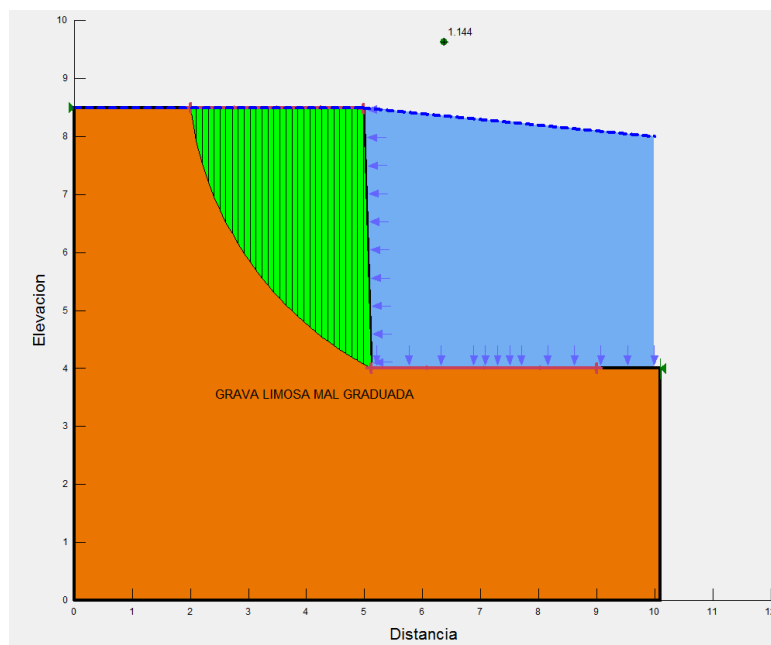
Fuente: Manual de Carreteras, Luis Bañon Blázquez Vol.2 capítulo 17 página 5.



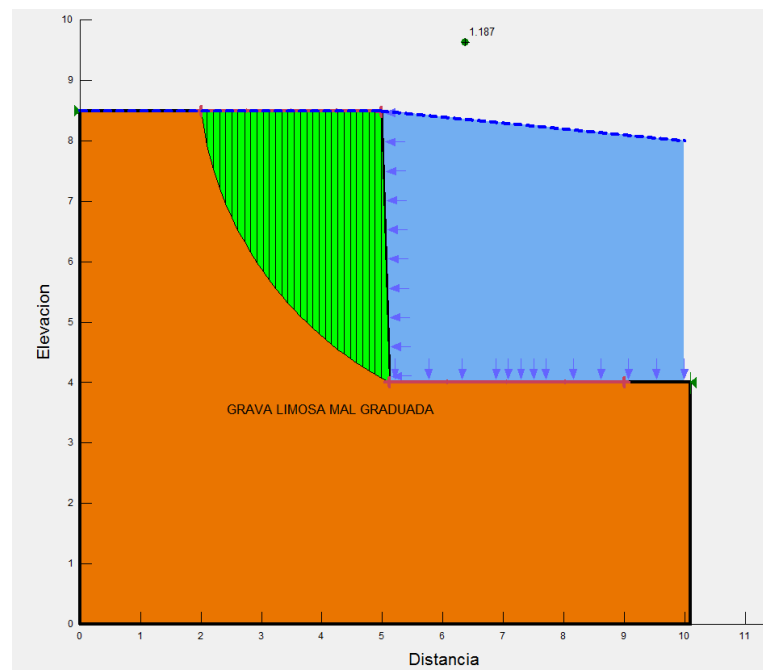
**Figura 31. Gráfico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad FS = 1.019, Método de Fellenius sin considerar nivel freático**



**Figura 32.** Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad  $FS = 0.884$ , Método de Bishop sin considerar nivel freático



**Figura 33.** Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad  $FS = 1.144$ , Método de Fellenius considerando un nivel freático a la altura del terreno (inundación)



**Figura 34.** Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad  $FS = 1.187$ , Método de Bishop considerando un nivel freático a la altura del terreno (inundación)

El factor de seguridad en los cuatro casos resulta inferior a 1.5 es decir el talud presenta inestabilidad bajo ambas condiciones asumidas, siendo este uno más de los problemas ocasionados por la extracción de material.

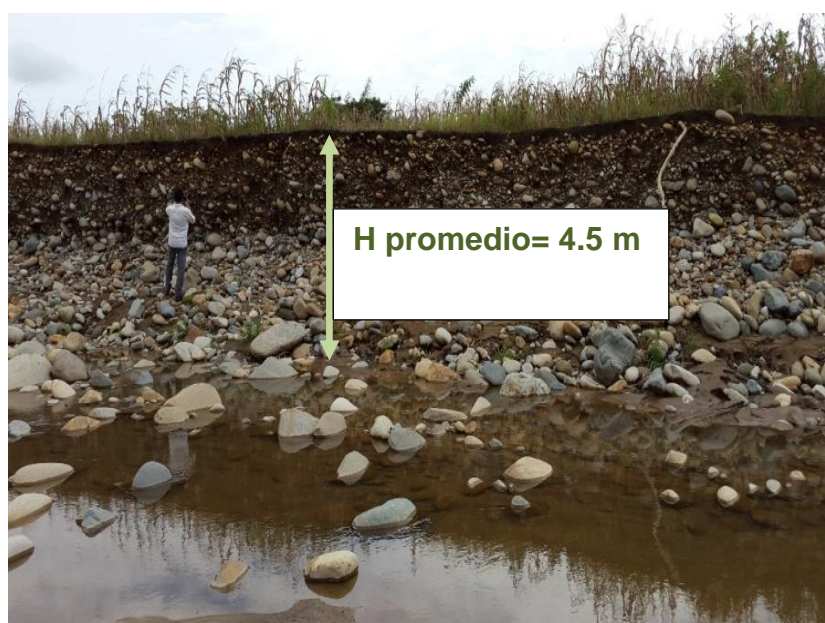
### 6.3 Muro de Escollera (Primera Solución)

#### 6.3.1 Descripción de la Obra Proyectada

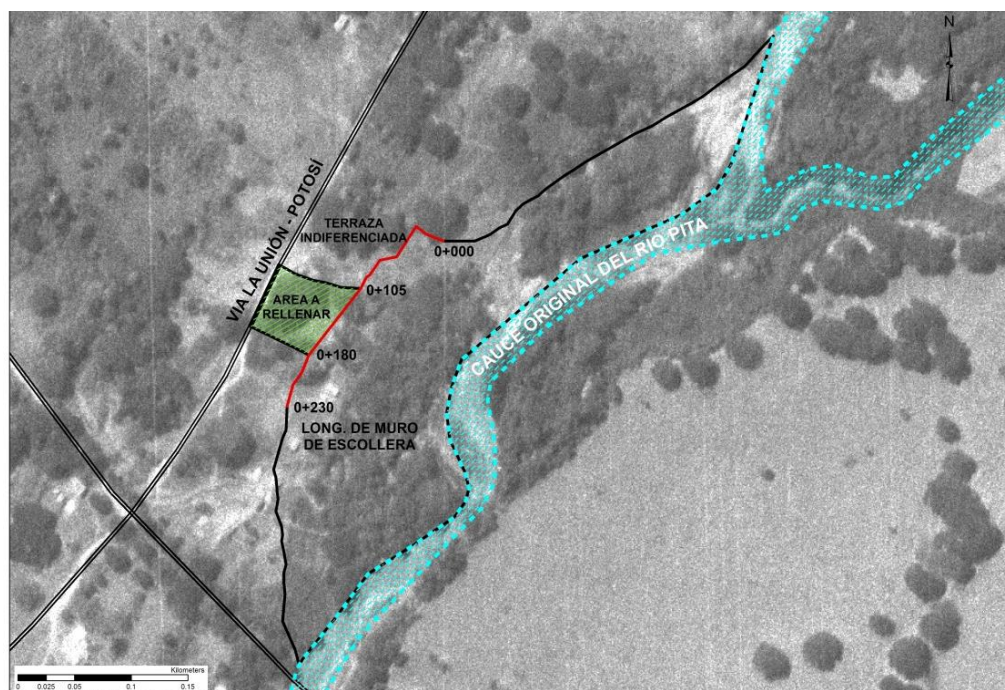
Esta solución plantea dos etapas, en la primera se procederá a



realizar el relleno del área adyacente a la vía, para luego construir un muro de escollera en la longitud de mayor afectación del margen derecho del Río Pita, donde se encuentra la terraza indiferenciada, este muro servirá como protección para las viviendas, sembríos, así como para la Vía La Unión – Potosí.



**Figura 35. Altura H= 4.5 de la Terraza Indiferenciada**



**Figura 36.** Fotografía aérea con abscisado en el que se trabajará el muro de escollera

Fuente de Geodatabase: IGM

**Tabla XXI.** Datos para calcular muro de escollera

| RELLENO           |            |          |                   |                   |
|-------------------|------------|----------|-------------------|-------------------|
| PTO. INICIAL      | PTO. FINAL | LONGITUD | ALTURA MAXIMA (M) | ALTURA MINIMA (M) |
| 0+105             | 0+180      | 0+075    | 5                 | 4                 |
| MURO DE ESCOLLERA |            |          |                   |                   |
| PTO. INICIAL      | PTO. FINAL | LONGITUD | ALTURA MAXIMA (M) | ALTURA MINIMA (M) |
| 0+000             | 0+230      | 0+230    | 5                 | 4                 |

El relleno se realizará en la zona comprendida entre las abscisas 0+105 y 0+180, correspondiente a un área de 4.084,08 m<sup>2</sup>, es decir

un volumen de 16,336.32 m<sup>3</sup>, para luego comenzar con la construcción del Muro de Escollera entre las abscisas 0+000 y 0+230 evitando el deslizamiento, la socavación y el avance del agua.

### **6.3.2 Propiedades del Material para Escollera**

Las rocas empleadas en la construcción de muro de escollera tienen que cumplir algunas características físicas, químicas y de durabilidad.

**El M.O.P en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes en la sección 511 Escolleras y Revestimientos numeral 511.1.02.1 Escollera de Piedras Sueltas,** menciona:

Las piedras a utilizarse deberán ser duras y de calidad que no se desintegren al estar expuestas al agua y a la intemperie; deberán cumplir con los requisitos exigidos en la parte donde se trata de piedra y mortero para mampostería y hormigón ciclópeo en estas especificaciones, en cuanto a su durabilidad. El 75% de las piedras individuales deberán ser de un volumen mayor de 30 decímetros cúbicos. En todo caso el tamaño estará definido por los cálculos técnicos realizados para evitar la erosión.

Las piedras se colocarán a mano, salvo que en las especificaciones especiales se permita el empleo de equipo mecánico, con su máxima dimensión, paralela al plano de talud. Se deberá dejar un mínimo posible de vacíos, que en todo caso se rellenarán con piedras más pequeñas, las que servirán para acuñar sólidamente las piedras grandes en su sitio.

La cara exterior de la escollera deberá quedar razonablemente uniforme, sin resaltos mayores de 15 cm. fuera de la línea general del paramento.

En la cara interior y base de la escollera deberá ser protegida con un geotextil no tejido para evitar el arrastre del material fino que deberá cumplir las características y especificaciones mínimas según tabla 511.1.1.

La escollera de piedra puede encapsularse en una geomalla biaxial para crear un colchón y en la cara interior y base deberá colocarse un geotextil no tejido para evitar el arrastre de finos. La geomalla deberá cumplir con las características y especificaciones mínimas según tabla 511.1.2. y los geotextiles no tejidos deberán cumplir las características y especificaciones de la tabla 511.1.1.

**Tabla XXII. Características y especificaciones técnicas del geotextil no tejido utilizado para escollera y revestimiento**

| PROPIEDADES                        | NORMA         | UNIDAD                                   | VALOR               |
|------------------------------------|---------------|------------------------------------------|---------------------|
| <b>MECANICAS</b>                   |               |                                          |                     |
| Método Grab                        | ASTM D-4632   |                                          |                     |
| Resistencia a la Tensión           |               | N (lb)                                   | 800 (180)           |
| Elongación                         |               | %                                        | >50                 |
| Resistencia al Punzonamiento       | ASTM D-4833   | N (lb)                                   | 460 (103)           |
| Resistencia al Rasgado Trapezoidal | ASTM D – 4533 | N(lb)                                    | 320 (72)            |
| Método Mullen Burst                | ASTM D-3786   |                                          |                     |
| Resistencia al Estallido           |               | kPa(psi)                                 | 2210(320)           |
| <b>HIDRÁULICAS</b>                 |               |                                          |                     |
| Tamaño de Abertura Aparente        | ASTM D-4751   | mm(No.Tamiz)                             | 0.15 (100)          |
| Permeabilidad                      | ASTM D-4491   | cm/s                                     | $40 \times 10^{-2}$ |
| Permitividad                       | ASTM D-4491   | $s^{-1}$                                 | 1.80                |
| Espesor                            | ASTM D-5199   | Mm                                       | 2.20                |
| Rentención de Asfalto              | TEXAS DOT3099 | Lt/m <sup>2</sup> (gal/yd <sup>2</sup> ) | NA                  |
| <b>PRESENTACIÓN</b>                |               |                                          |                     |
| Tipo de Polímero                   | Fabricante    |                                          | Polipropileno       |
| Ancho del Rollo                    | Medido        | m                                        | 3.8                 |
| Largo del Rollo                    | Medido        | M                                        | 100                 |
| Área del Rollo                     | Calculado     | m <sup>2</sup>                           | 380                 |

Fuente: MOP -001-F-2002, capítulo V página 113 Tabla 511.1.1

**Tabla XXIII. Características y especificaciones técnicas de la geomalla biaxial utilizada para escolleras y revestimientos**

| PROPIEDAD                                                                                                                                    | METODO DE ENSAYO            | UNIDAD | VALOR           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------|-----------------|
| <b>TAMAÑO DE APERTURA</b>                                                                                                                    | I.D. Calipered <sup>2</sup> |        |                 |
| MD (Sentido Máquina)                                                                                                                         |                             | Pulg.  | 1.8(nom.)       |
| XD (Sentido Contrario Máquina)                                                                                                               |                             | Pulg.  | 2.0(nom.)       |
| <b>ESPESOR</b>                                                                                                                               | ASTM D 1777-64              |        |                 |
| <b>COSTILLA</b>                                                                                                                              |                             | Pulg.  | 0.07 (nom.)     |
| <b>JUNTA</b>                                                                                                                                 |                             | Pulg.  | 0.20 (nom.)     |
| <b>REFUERZO</b>                                                                                                                              |                             |        |                 |
| <b>RIGIDEZ FLEXURAL</b>                                                                                                                      | ASTM D 1388-64 <sup>4</sup> |        |                 |
| MD                                                                                                                                           |                             | mg-cm  | 750.000 (min)   |
| XD                                                                                                                                           |                             | mg-cm  | 1,000.000 (min) |
| <b>MODULOS DE TENSION</b>                                                                                                                    | GRI-GG1-87 <sup>5</sup>     |        |                 |
| MD                                                                                                                                           |                             | lb/ft  | 21,500 (min)    |
| XD                                                                                                                                           |                             | lb/ft  | 22,500 (min)    |
| <b>ESFUERZO JUNTAS</b>                                                                                                                       | GRI- GG2-87 <sup>6</sup>    |        |                 |
| MD                                                                                                                                           |                             | lb/ft  | 1,350 (min)     |
| XD                                                                                                                                           |                             | lb/ft  | 1,440 (min)     |
| <b>MATERIAL</b>                                                                                                                              |                             |        |                 |
| POLIPROPILENO                                                                                                                                | ASTM D4101                  | %      | 97 (min)        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• MD Sentido del rollo longitudinalmente</li> <li>• XD Sentido del rollo transversalmente.</li> </ul> |                             |        |                 |

Fuente: MOP -001-F-2002, capítulo V página 114 Tabla 511.1.2

**El M.O.P en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes en la sección 818 Piedra para Mampostería y Hormigón Ciclópeo numeral 818-2. Piedra para Mampostería,** menciona:

**818-2.01 Descripción.-** La piedra para mampostería deberá ser de calidad aprobada y procederá de canteras o yacimientos; será sólida,

resistente y durable; presentará color uniforme y estará exenta de resquebrajamientos, rajaduras u otros defectos que perjudiquen su resistencia. La piedra estará libre de restos vegetales, tierra u otros materiales objetables. Toda piedra alterada por acción de la intemperie o que se encuentre meteorizada, será rechazada. La piedra para mampostería será molón, salvo si las Disposiciones Especiales exijan el uso de piedra labrada. Las piedras para mampostería no deberán tener depresiones o protuberancias que permitan concentración de esfuerzos en los apoyos o que impidan sean debidamente asentadas; la forma será tal que satisfaga los requerimientos arquitectónicos y estructurales de la mampostería especificada, lo que será verificado por medición directa.

**818-2.03 Ensayos y Tolerancias.-** La piedra para mampostería tendrá una densidad mayor o igual a 2.3 gr/cm<sup>3</sup> y no presentará un porcentaje de desgaste mayor a 40 en el ensayo de abrasión, Norma INEN 861, con 500 vueltas de la máquina de los Ángeles. La piedra para mampostería no arrojará una pérdida de peso mayor al 12% en el ensayo de durabilidad, Norma INEN 863, luego de 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio [18].

Flores Cristian Xavier en su trabajo de graduación, “Bases para el

diseño de encausamientos de márgenes estables y de márgenes con protección de enrocado o pedraplén”, menciona las siguientes características respecto al material utilizado para escollera.

### **Densidad de las Rocas**

Se recomienda que la densidad de la roca sea superior o igual ( $\rho_d \geq 2,500 \text{ kg/m}^3$ ).

### **Resistencia a Compresión Simple**

Se deben ensayar series de 10 probetas, la resistencia media a compresión de la serie, tras desprejar el valor mínimo de la misma, debe ser ( $\geq 80 \text{ MPa}$ ).

Al menos ocho de las diez (8/10) probetas deben presentar una resistencia ( $\geq 60 \text{ MPa}$ ), no se deberá rebajar los valores recién referidos en más de (20 MPa), con lo que estos podrían llegar a establecerse, si así se justificara convenientemente, (60, 40 MPa) respectivamente.

### **Resistencia a la Fragmentación**

La resistencia a la fragmentación se valorará mediante el coeficiente de Los Ángeles. Dicho coeficiente deberá ser (**LA  $\leq 35$** ).

### **Estabilidad Frente a la Inmersión en Agua**

Se deberán emplear rocas estables frente a la inmersión en agua, entendiéndose por tales aquellas que sumergidas en agua durante veinticuatro horas (24 h) no manifiesten fisuras y la pérdida de masa que sufran sea menor o igual al dos por ciento ( $\Delta m/m \leq 0.02$ ).



## Peso Específico

La Tabla XXIV incluye valores orientativos de los pesos específicos secos de algunas de las rocas de más frecuente uso en la ejecución de muros.

**Tabla XXIV. Peso específico seco aproximado de algunas rocas**

| CLASIFICACIÓN | ROCA                                             | $\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
|---------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| PLUTÓNICAS    | Granitos sanos                                   | 26-27,5                         |
|               | Sienitas y monzonitas                            | 25-27                           |
|               | Dioritas                                         | 25-27                           |
|               | Gabros y peridotitas                             | 29-30,5                         |
| FILONIANAS    | Pórfidos                                         | 27-29                           |
|               | Diabasas y ofitas                                | 29-31                           |
| VOLCÁNICAS    | Riolitas y traquitas                             | 24,5-26                         |
|               | Andesitas, traquiandesitas y dacitas             | 23-27,5                         |
|               | Basaltos                                         | 27,5-30                         |
| METAMÓRFICAS  | Cuarcitas                                        | 26-26,5                         |
|               | Gneises                                          | 23-28                           |
|               | Esquistos y pizarras muy sanas                   | 22-26                           |
|               | Piroxenitas y anfibolitas                        | 28-30                           |
|               | Mármoles                                         | 26,5-27,5                       |
| DETRÍTICAS    | Conglomerados, pudingas y brechas muy cementadas | 20-27                           |
|               | Areniscas muy cementadas                         | 19-29                           |
|               | Grauwacas                                        | 22-29                           |
| CARBONATADAS  | Calizas                                          | 21-28,5                         |
|               | Dolomías                                         | 22-28,5                         |

Fuente: Flores Herrera Cristian Xavier, 2013

Se recomienda que la densidad seca de las rocas sea superior o igual a ( $\rho_d \geq 2,500 \text{ kg/m}^3$ ), lo que da lugar a un peso específico seco mínimo de ( $\gamma_d = 24.52 \approx 25 \text{ kN/m}^3$ ).

En los ensayos realizados para la Dirección General de Carreteras de España con rocas de pesos específicos secos comprendidos entre ( $25 \leq \gamma_d \leq 26.50 \text{ kN/m}^3$ ), se han obtenido pesos específicos aparentes de la escollera comprendidos entre ( $17 \leq \gamma_{ap} \leq 19 \text{ kN/m}^3$ ), en función de las características de su colocación.

## **Porosidad**

Es el cociente entre el volumen de huecos y el volumen total del muro. La porosidad del muro estará en función de aspectos como:

- Curva granulométrica del material
- Tamaño relativo de las rocas frente a las dimensiones del muro
- Calidad de la colocación de los bloques de escollera
- Forma de los bloques
- Rugosidad de los bloques

Se recomienda que la porosidad en escollera oscile entre ( $0.25 \leq n \leq 0.35$ ), con preferencia en la mitad inferior de dicho rango.

## **Ángulo de Rozamiento Interno**

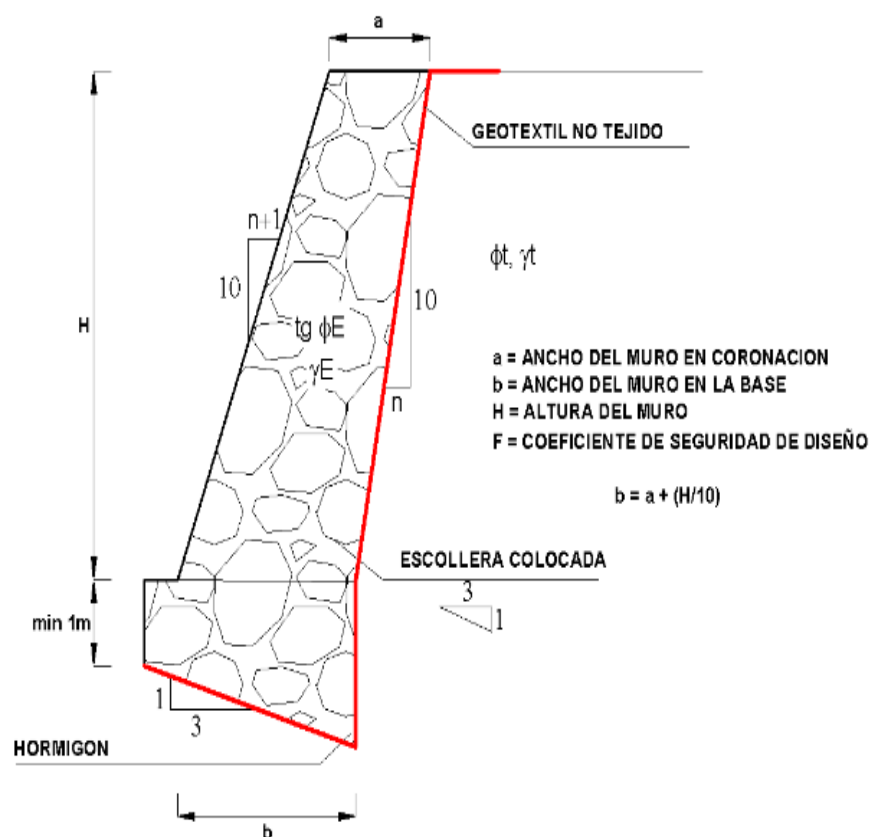
La mayoría de las investigaciones de tipo teórico sobre escolleras se basan en ensayos de laboratorio realizados con materiales de menor tamaño que los realmente puestos en obra, por lo que uno de los problemas más importantes que se plantean es el de la representatividad de dichos ensayos respecto del comportamiento real de la escollera.

A la vista de lo anterior, resulta una práctica bastante habitual el empleo de criterios empíricos basados en el comportamiento real de estructuras similares, aplicándose cohesiones nulas ( $c = 0$ ) y ángulos de rozamiento que dependen fundamentalmente de la Porosidad, Tensión normal y Resistencia a compresión simple de la roca.

Se ha constatado un incremento del ángulo de rozamiento interno con la disminución de la porosidad, incremento del índice de densidad y cuando la resistencia a compresión aumenta, si bien únicamente hasta alcanzar un cierto límite.

### 6.3.3 Dimensionamiento del Muro de Escollera

El diseño del muro está basado en las “Recomendaciones para el diseño y construcción de muros de escollera en obras de carreteras” del Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras (Madrid, España 1998), pues en nuestro país no contamos con tablas que normalicen estos diseños, el MOP solo hace referencia a las características que debe cumplir el material.



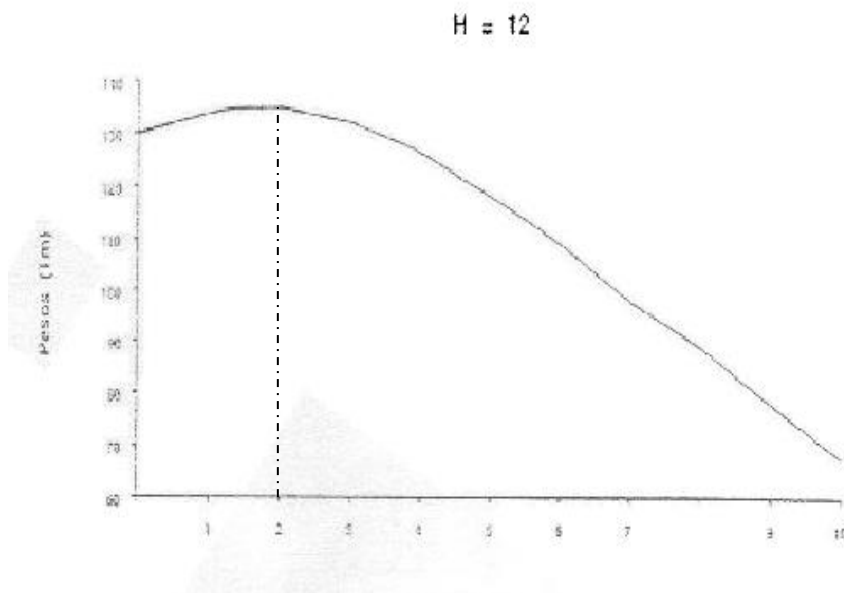
**Figura 37. Esquema de Muro de Escollera**

Fuente: Ministerio de Fomento 1998, España

El muro de escollera se asentara en el talud tomando como trasdós el material del sitio, el mismo que tiene las siguientes características:

- **Peso específico  $\gamma= 1,900 \text{ kg/m}^3$**
- **Angulo de fricción interna  $\phi= 35^\circ$**

En la realización de este tipo de muros, el efecto estabilizador proviene del peso propio, esto se obtiene para un valor de  $n=2$  lo cual se ha comprobado realizando la variación del peso del muro en función de la pendiente del mismo.



**Figura 38. Variación del peso del muro con la pendiente para una altura de 12 metros**

Fuente: Ministerio de Fomento 1998, España

Conforme se va inclinando el muro, su peso aumenta ligeramente hasta un valor de  $n=2$ , a partir del cual, el peso del muro disminuye, alcanzando un valor mínimo para  $n=10$ . Debido a esto utilizaremos  $n=2$  para los cálculos.

De acuerdo al tamaño de la roca (grande o mediana):

- **Muy buena; densidad aparente 1,900 kg/m<sup>3</sup> (grande)**
- **Buena; densidad aparente 1,700 kg/m<sup>3</sup> (mediano)**

Se consideran dos tipos de escolleras, adoptando para nuestro diseño la tipología I es decir rocas grandes con pesos aproximados entre 2,160-2,700 kg

**Tabla XXV. Características según el tipo de escollera**

| Escollera | $\gamma_t$<br>kg/m <sup>3</sup> | $\text{tg}\phi_t$ |
|-----------|---------------------------------|-------------------|
| I         | 1900                            | 2,0               |
| II        | 1700                            | 1,5               |

Fuente: Ministerio de Fomento 1998, España

Ya definido el peso específico y ángulo de fricción interna del terreno y de las rocas de escollera seleccionaremos en cuál de las cuatro condiciones que se presentan en la Tabla XXVI nos encontramos:

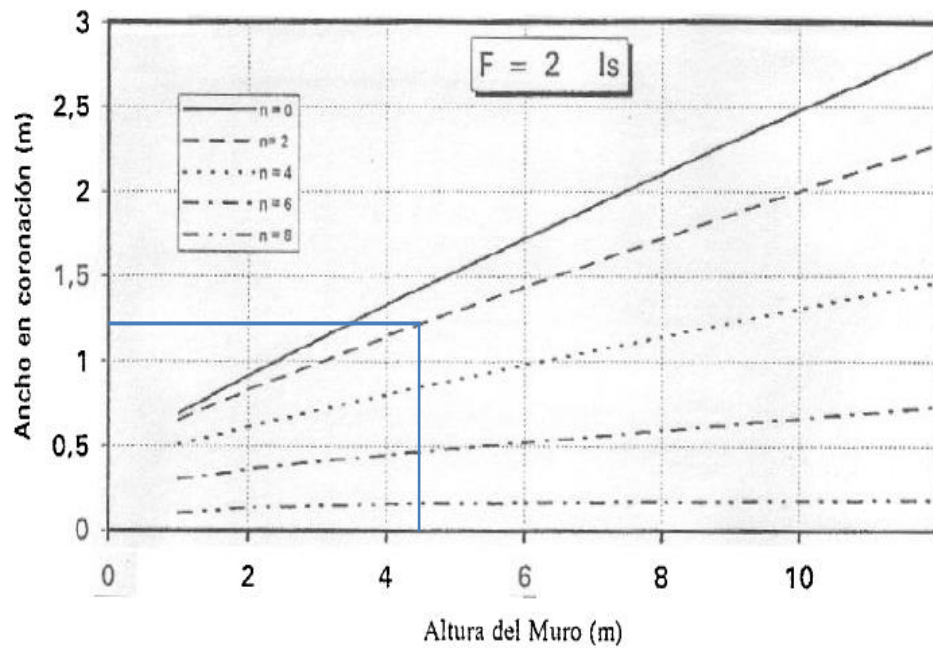
**Tabla XXVI. Tipos de situaciones en función del trasdós y el muro de escollera asumido**

|                                     | I <sub>s</sub> | II <sub>s</sub> | III <sub>s</sub> | IV <sub>s</sub> |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| tgφ <sub>E</sub>                    | 2              | 2               | 1,5              | 1,5             |
| γ <sub>E</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | 1900           | 1900            | 1700             | 1700            |
| φ <sub>T</sub>                      | 35°            | 25°             | 35°              | 25°             |
| γ <sub>T</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | 1900           | 1900            | 1900             | 1900            |

Fuente: Ministerio de Fomento 1998, España

De acuerdo con la Tabla XXVI, se observa que nos encontramos en el caso I<sub>s</sub>.

Los ábacos se han realizado tomando como base para el cálculo de los muros, los coeficientes de seguridad al vuelco y al deslizamiento, que son los más restrictivos de la estabilidad, F= 1.5; 2.0; 2.5. Se ingresará al ábaco asumiendo un F=2 [20].



**Figura 39. Abaco para el cálculo de muros de sostenimiento, situación IS y F=2**

Fuente: Ministerio de Fomento 1998, España

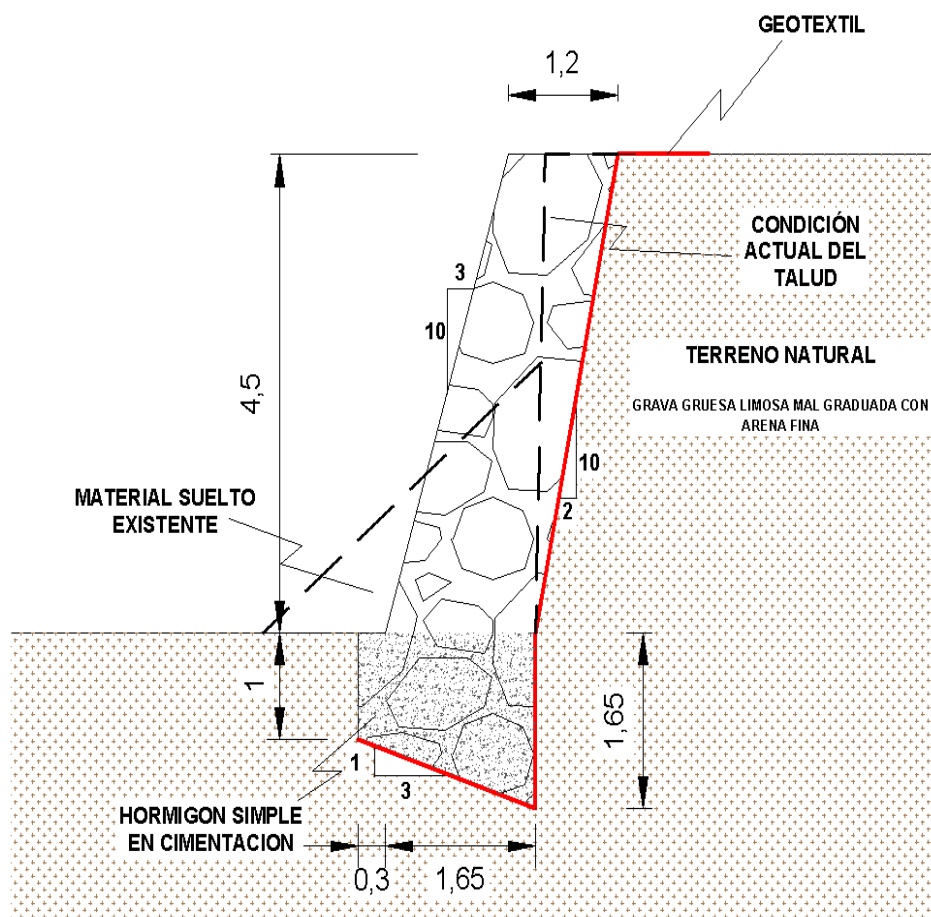
De la Figura 39 se obtiene el ancho en coronación  $a=1.2$  m para la altura de muro correspondiente  $H=4.5$  m, por lo que el ancho de muro en la base será:

$$b = a + (H/10)$$

[Ecuación 14]

$$b = 1.65 \text{ m}$$

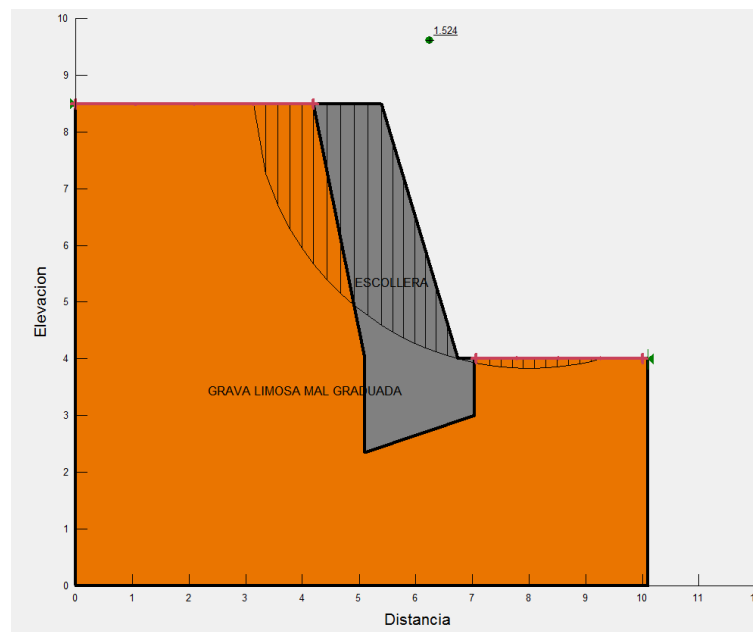
El muro finalmente queda con estas medidas.



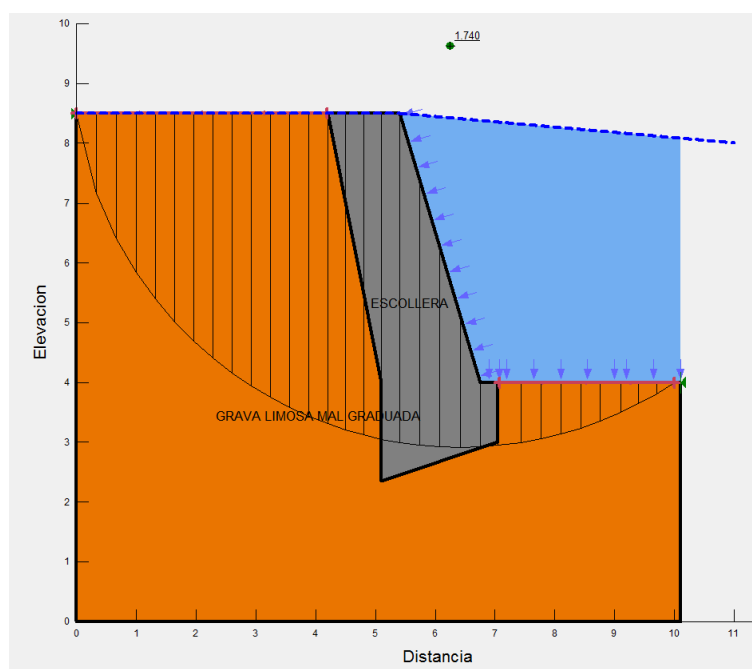
**Figura 40. Diseño de Muro de Escollera**

Ahora se deberá comprobar la estabilidad del talud con la solución propuesta utilizando nuevamente GeoStudio 2007.

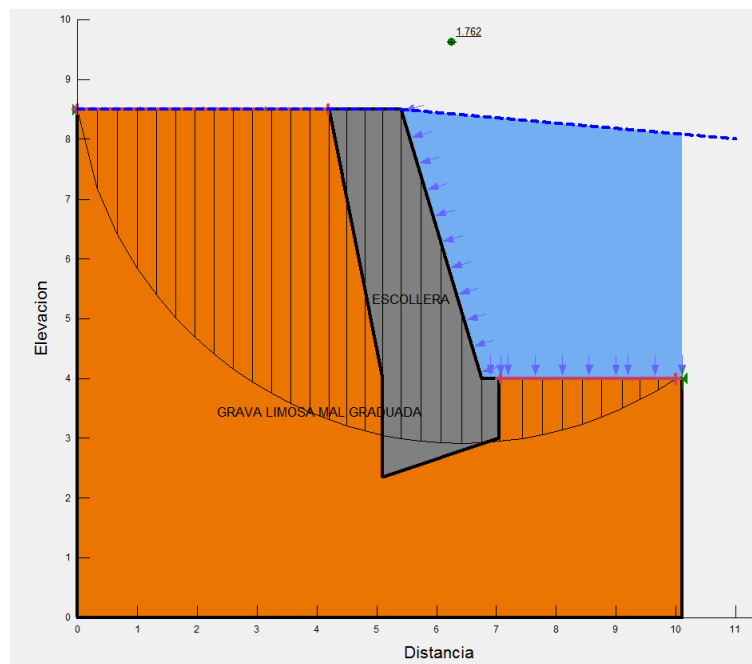




**Figura 41.** Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad  $FS = 1.524$ , Método de Bishop sin considerar nivel freático



**Figura 42.** Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad  $FS = 1.740$ , Método de Bishop considerando un nivel freático a la altura del terreno (inundación)



**Figura 43.** Grafico obtenido del software GeoStudio2007, factor de seguridad FS = 1.762, Método de Morgenstern-Price considerando un nivel freático a la altura del terreno (inundación)

Como se puede ver en las Figuras 41, 42, 43 los valores del factor de seguridad se han visto incrementados debido a la colocación del muro de escollera. Por lo tanto se demuestra que el muro es una solución tentativa al problema de estabilidad.

En el ANEXO 2 se realizara el presupuesto refencial y análisis de precios unitarios.

### 6.3.4 Ventajas y Desventajas del Muro de Escollera

#### Ventajas

- Protege la ribera del río de los embates de las avenidas.
- Fácil diseño y construcción rápida.
- Trabajan fundamentalmente por gravedad.
- Son flexibles y son capaces de soportar asentamientos sin fracturarse.
- Alta durabilidad.
- El muro de escollera facilita el drenaje por medio de los intersticios que se encuentran entre las escolleras.
- Facilita también la adaptación a cualquier movimiento del terreno, pudiendo además presentarse algunas distorsiones sin que el muro de escollera sufra cualquier daño en su estructura.
- Buena capacidad de integración del muro de escollera con el entorno, ya que está compuesta de un medio natural.

#### Desventajas

- No permite realizar las pruebas de resistencia del material pétreo con facilidad debido al gran tamaño de la roca.

- Se obtienen pesos específicos aparentes muy por debajo de los reales de cada bloque.
- En el caso de necesitarse una reparación se necesitará movilizar equipo pesado lo cual no siempre es sencillo.
- Este tipo de muro necesita de una supervisión más continua dado que no trabaja de la misma manera que un muro estructural.

## **6.4 Bambú (Segunda Solución)**

### **6.4.1 Descripción de la Obra Proyectada**

Al igual que la primera solución se plantea realizarla en dos etapas, primero debe rellenarse el área adyacente a la vía, debido a que es necesario protegerla de la cercanía que ahora presenta al cauce alterado del río.

La segunda etapa se la realizara utilizando un método bondadoso con el ecosistema. Si bien existen diversas formas de estabilizar taludes y proteger márgenes de ríos de forma natural, en este caso el bambú se presenta como la solución más adecuada, ya que en la inspección de campo realizada se pudo verificar que esta gramínea se encuentra en

gran parte de los márgenes aguas arriba y abajo del área en estudio, es decir a lo largo de este sector, por lo que no solo ayudará a la estabilidad del talud y el control de la socavación, sino a que la propuesta de esta solución sea económica.



**Figura 44.** Macollas de bambú a orillas de Río Pita

#### **6.4.2 Propiedades del Bambú**

El bambú (*Guadua Angustifolia*) ha sido utilizado extensivamente para la protección de taludes. Sus rizomas son extremadamente fuertes y forman una cubierta apretada que protege el suelo alrededor de la macolla hasta una profundidad de aproximadamente 300 - 500 mm. Bajo los rizomas y extendiéndose a un radio de cerca de 10m y a veces mayor, hay una fina pero densa red de raíces que refuerzan el suelo.



**Figura 45. Sistema Rizomático y Radicular de Guadua Angustifolia**

Fuente: Vélez, S. (2014), Colombia

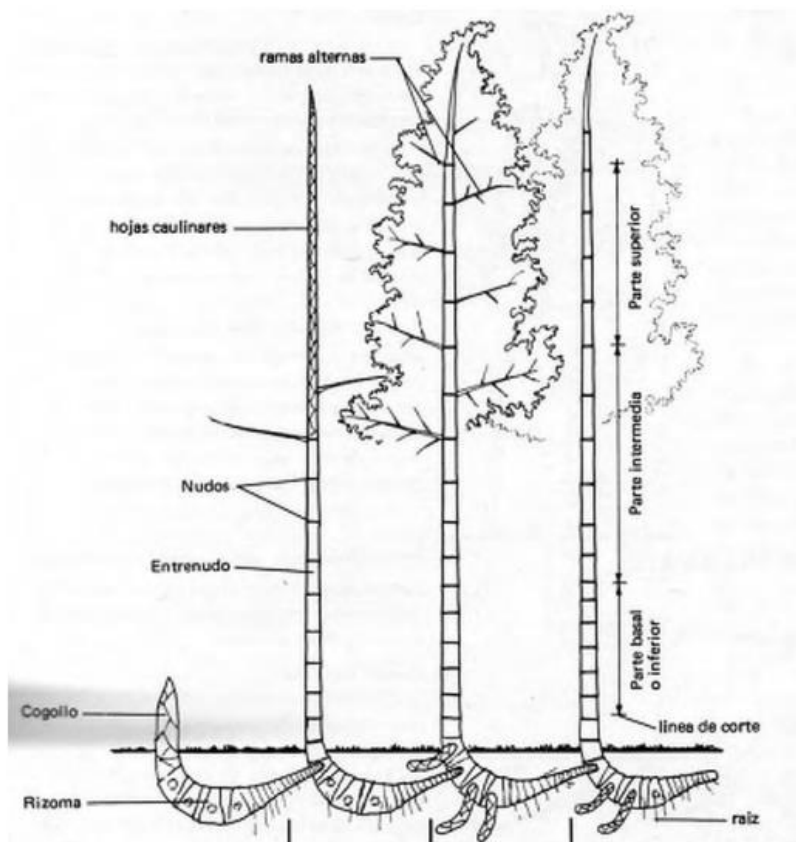
Los rizomas y hojas en descomposición se comportan en el suelo similar a las esponjas, evitando que el agua fluya de manera rápida continua, con lo cual se propicia la regulación de los caudales y la protección del suelo a la erosión. El sistema entretejido de rizomas y raicillas origina una malla, que les permiten comportarse como eficientes muros biológicos de contención que controlan la socavación lateral y amarran fuertemente el suelo, previniendo la erosión y haciendo de la guadua una especie con función protectora, especial para ser usada en suelos de ladera de cuencas hidrográficas.



**Figura 46. Guadua ligada a las fuentes de agua, protegiendo el margen del río**

Fuente: Vélez, S. (2014), Colombia

Cuando ocurre la reproducción de la planta por semilla, se presentan características muy definidas y particulares con relación a su crecimiento; una vez la semilla germina da origen a una plántula débil en sus primeros estados y requiere mínimo de 4 meses para que se fortalezca su sistema de raíces (muy fibrosa) y comience la emisión de renuevos producto de la multiplicación asexual, normalmente esta plántula en 4 meses emite cerca de 4 a 5 talluelos con hojas debidamente diferenciadas.



**Figura 47. Conformación de un culmo de guadua**

Fuente: Vélez, S. (2014), Colombia

La planta con el transcurrir del tiempo origina cada vez nuevos rebrotes que van evolucionando en diámetro y altura a tal punto que dependiendo del tipo de suelo y de las condiciones climáticas logra entre 10 y 13cm de altura en 30 días y diámetros que se incrementan a un promedio de 0.10mm mensuales; al finalizar el primer año tiene un promedio de 12-14 rebrotes con vida productiva de 3-4 meses al cabo de los cuales se secan de arriba hacia abajo para dar paso a nuevos rebrotes con que adquieren mayor altura y salen con diámetro mayores. En condiciones normales en las primeras fases de desarrollo, siempre los nuevos hijos (renuevos) poseen mayor tamaño de rizoma, diámetro y altura, con relación a la planta que los generó. A partir del tercer año de sembrada la planta original, se logra tener entre 18-20 rebrotes, alturas que oscilan entre los 5 y 7 metros y diámetros de 4-6cm; época en la cual se deben realizar los primeros tratamientos silviculturales para evitar exceso de tallos.



Entre los 3 y 6 años la planta de guadua entra en una etapa de desarrollo vertiginoso, adquiere alturas entre 12 a 15 metros, incremento de los diámetros entre 9 y 11cm y disminución en el número de renuevos siendo estos de 12-14; A partir de esta etapa la planta estabiliza su desarrollo evolutivo, estandarizando patrones como altura promedio de 15 a 18m, diámetros entre 10-12cm y promedio/Ha de 4,000 a 4,500 individuos diferenciados de manera clara de acuerdo a la edad de desarrollo así: Renuevos, guaduas viches (jóvenes), guaduas hecha (madura) y guaduas secas (las que culminan su ciclo). En esta etapa el gradual se considera desarrollado en cuanto a producción de individuos debidamente formados en diámetro y altura [21].

Los rizomas también pueden añadir peso a una macolla, especialmente cuando está mojada. El peso de una macolla de bambú puede añadir carga a las laderas y el ingeniero puede utilizar esta carga en la base de la ladera. Macollas aisladas de bambú maduro en una pendiente mayor a 30 grados pueden estar sujetas al deslizamiento en condiciones de tormenta cuando el suelo está saturado. Macollas de bambú sembrados en el fondo de un cauce angosto tienden a unirse para formar una masa de raíces y doseles. Ayudan a apoyar y se apuntalan entre sí a la vez que estabilizan el cauce.

Se han realizado experimentos en un intento por alentar al bambú a desarrollar raíces y retoños de todos los nudos de un tallo de bambú sembrado en posición horizontal. Esto funciona mejor con algunas especies que con otras, pero por lo general los resultados son pobres y los retoños y raíces rara vez se desarrollan a todo lo largo del tallo. Sin embargo, a pesar de esto, los tallos colocados en posición horizontal pueden ser útiles en bioingeniería ya que actúan como barreras a lo largo de laderas o de hondonadas anchas. Pueden usarse en colaboración con otro material vegetativo.

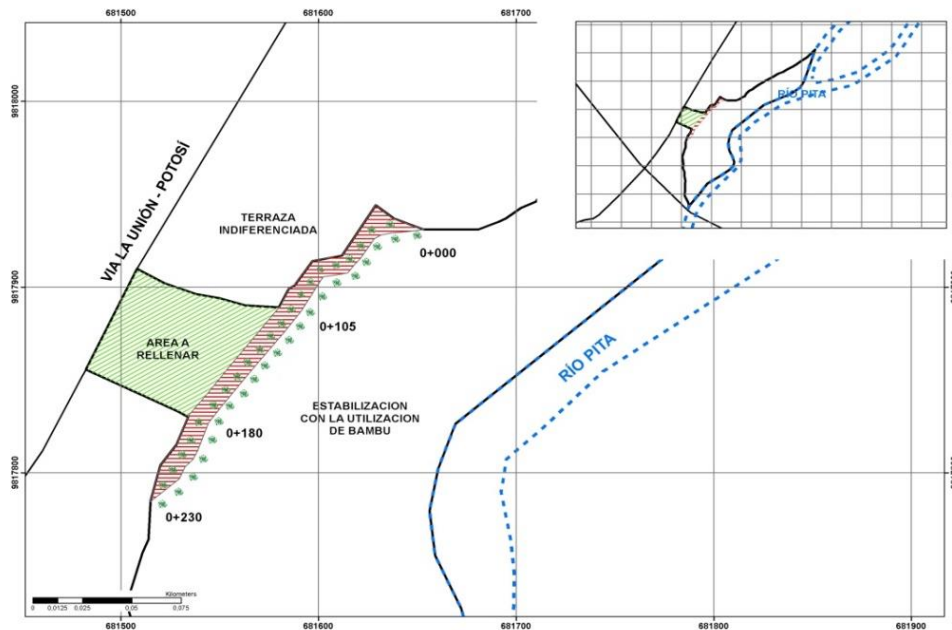
Un tallo colocado en posición horizontal que haya sido sembrado con una porción de rizoma tiene más probabilidades de desarrollar raíces y retoños en el extremo basal que un tallo plantado sin una parte del rizoma. Las raíces y los retoños en el extremo basal

pueden constituir un punto de anclaje fuerte y se pueden desarrollar tallos maduros en el año [22].

#### **6.4.3 Diseño de la Segunda Solución (Bambú)**

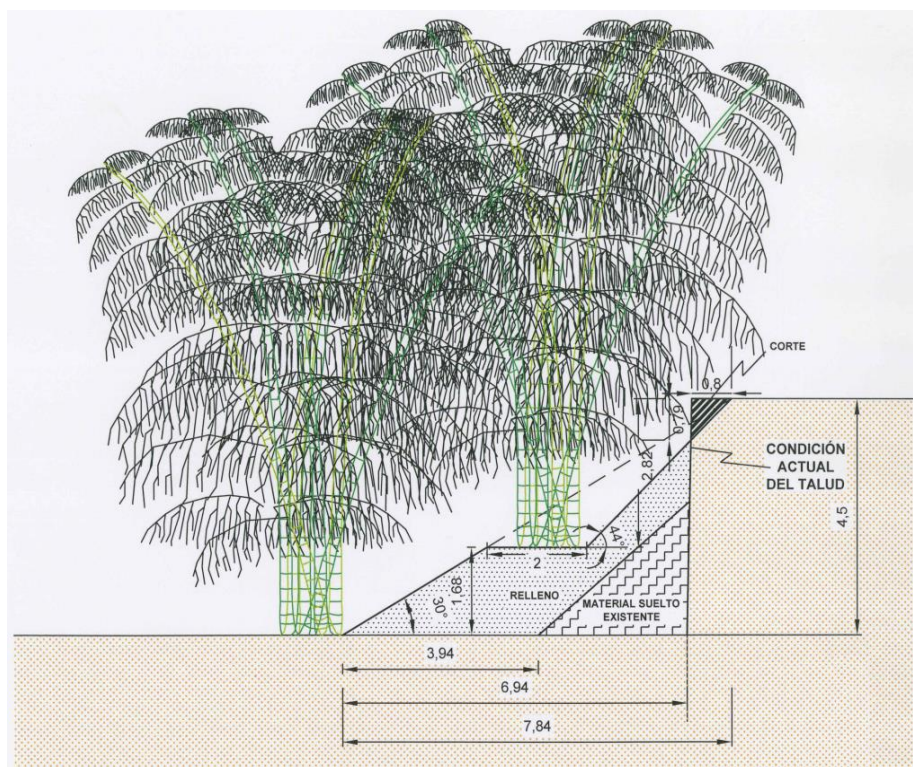
Procederemos a realizar el relleno en la zona comprendida entre las abscisas 0+105 y 0+180, correspondiente a un área de 4,084.08 m<sup>2</sup>, es decir un volumen de 16,336.32 m<sup>3</sup>. En la segunda etapa se tendera un talud con material del sitio y se lo compactará para luego sembrar el bambú de una manera alternada en a la mitad y al pie de este, cada retoño separado a una distancia aproximada de 10m y sembrados al mismo tiempo, esto con la finalidad que no haya daño por parte de una macolla a otra.

Este trabajo se lo realizara entre las abscisas 0+000 y 0+230 Figuras 49 y 50.



**Figura 48. Distribución de las macollas de bambú**

Fuente de Geodatabase: IGM



**Figura 49. Diseño de Estabilización con el uso de bambú**

#### 6.4.4 Ventajas y Desventajas de la Solución con Bambú

##### Ventajas

- El bambú es fuerte, numeroso y flexible.
- Tiene un sistema de raíces extensas, profundas y de amplia diseminación
- Consta con sistema de raíces densas y fibrosas que protegen y refuerzan al terreno.
- Las raíces fuertes mejoran la resistencia del suelo al fraccionamiento
- Tiene la capacidad de resistir la erosión
- Aumenta la infiltración
- El área de la hoja es alta para mejorar la transpiración
- El bambú es particularmente adecuado para plantaciones forestales por su corto periodo vegetativo
- Sobreviven en suelos pobres en nutrientes
- Gran captura de dióxido de carbono (23tm/Ha/año)
- Están disponibles en grandes cantidades localmente
- Son fácilmente identificables
- Resisten limpieza de malezas y podas

### **Desventajas**

- El bambú suele tener características alelopáticas, es decir, que se vale de ciertas estrategias fisiológicas para evitar el crecimiento de otras especies vegetales a su alrededor.
- Su efecto estabilizador no es inmediato, se debe esperar un tiempo para que la planta madure (3 a 6 meses).

### **6.5 Análisis y Evaluación de los Resultados**

Una vez realizado el diseño de las dos posibles soluciones, se pudo notar que el muro de escollera aunque es una construcción convencional para este tipo de situaciones y que aparentemente es mucho más resistente muestra las mismas ventajas que tiene la solución realizada con el bambú, con la gran diferencia que esta segunda económicamente es más baja y es amigable con la naturaleza, ya que al utilizar el bambú no solo se logra el objetivo de la estabilización y protección de la ribera sino que también se brinda una protección extra al medio ambiente al realizar la reforestación, considerando que esta gramínea tiene la capacidad de capturar aproximadamente 23 tm/hec/año de CO<sub>2</sub>, colaborando así a mitigar el calentamiento global. Además se debe considerar algo muy importante

tiene un periodo vegetativo muy corto.

Por lo cual aunque es una muy buena opción la construcción del muro de escollera la segunda alternativa brinda un mayor beneficio sin mencionar que paisajísticamente este sector mejoraría, brindando un sitio para la recreación de sus habitantes.

# **CAPÍTULO VII**

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Conclusiones**

1. Ninguna de las soluciones propuestas tendrá el efecto deseado si se continúa con la explotación desmedida en el sector.
2. Ecuador no cuenta con una guía que brinde metodologías de explotación, como otros países de Latinoamérica.

3. Algunos Gobiernos Autónomos Descentralizados no tienen ordenanzas para regular la explotación de materiales áridos y pétreos.
4. No se están cumpliendo algunos artículos de la Constitución así como de las demás leyes en las que se amparan al medio ambiente y el derecho al buen vivir de las personas.
5. Gran parte de la afectación radica en la falta de control por parte de los Gobiernos Autónomos Descentralizados que son los responsables de emitir los permisos necesarios en base a inspecciones para la explotación de diferentes sectores del País.

## **7.2 Recomendaciones**

1. Se debe parar de inmediato la forma irresponsable con la que se está trabajando en este sector.
2. Se debe hacer más consciente a los dueños de los terrenos de los problemas legales que tendrán si se continúa con la extracción del material, además de obligarles a remediar el daño lo antes posible.



3. Se recomienda que los GADs intervengan de manera constante, realizando inspecciones a las áreas explotadas que han sido solicitadas como libre aprovechamiento y aplicando la sanción correspondiente.
4. Que se formulen metodologías de explotación que permitan realizar un trabajo ordenado y responsable en el sector asignado como mina.
5. Los GADs municipales de forma inmediata asuman las responsabilidades en coordinación con el Consejo Nacional de Competencias.

## **ANEXO 1 (LÁMINAS)**

**ANEXO 2 (ENSAYOS REALIZADOS, A. P. U. Y  
PRESUPUESTOS)**

## **ANEXO 3 (EVIDENCIA FOTOGRÁFICA)**

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **UTILIZADA**

- [1] Terry, M. (2013). Memoria sobre explotación ilícita de material pétreo del río Jatunyacu. Tena, Ecuador: Fundación Río Napo.
  
- [2] Torres, Juan Carlos. Necesidad de reformar la ley de minería para la explotación técnica de los materiales áridos y pétreos por parte de los GADs del Ecuador, a fin de prevenir la contaminación ambiental. Tesis previo a la obtención del Título de Abogado. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2014. 92 h.

- [3] ECUADOR. CONSEJO Metropolitano de Quito. Ordenanza Metropolitana N° 0557, Ordenanza Metropolitana para regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos en el Distrito Metropolitano de Quito, Quito, Ecuador, 2014. 67 p.
- [4] Alfonso, M. (2012). Diagnóstico de las condiciones técnicas minero ambientales mediante las cuales se adelanta la explotación de materiales pétreos en lecho de río en Colombia y la formulación de recomendaciones técnicas y de necesidades normativas asociadas que permitan adelantar esta actividad de manera ambientalmente responsable. Bogotá, Colombia: Ministerio de Minas y Energía.
- [5] ECUADOR. Asamblea Constituyente. Constitución de la Republica, Quito, Ecuador, 20 de octubre de 2008. p. 24, 130, 177 – 178, 181.
- [6] ECUADOR. Ministerio del Ambiente, Reglamento ambiental de actividades mineras, Quito, Ecuador, 18 de septiembre de 2014. p. 35 - 36.

- [7] ECUADOR. Rafael Correa Delgado, Presidente Constitucional de la Republica, Decreto 119, Reglamento General de la Ley de Minería, Quito, Ecuador, 4 de noviembre de 2009. p. 14 – 15.
- [8] ECUADOR. Ministerio de Hidrocarburos. Ley de Minería, Quito, Ecuador, 29 de enero de 2009. p. 23.
- [9] ECUADOR. Asamblea Nacional. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, Quito, Ecuador, 06 de agosto de 2014. p. 5 – 6.
- [10] ECUADOR. Rafael Correa Delgado, Presidente Constitucional de la Republica, Primer suplemento del registro oficial N°. 483, Reglamento a la ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua, Quito, Ecuador, 20 de abril de 2015. p. 28 – 30.
- [11] Catarama: carta topográfica, geodatabase, fotografía aérea: Guaranda Oeste: carta topográfica, geodatabase, San José de Camarón (reservada): carta topográfica, geodatabase. Instituto Geográfico Militar (IGM). Quito, 2008. Esc. 1:50000.

- [12] PERÚ. MINISTERIO de transportes y comunicaciones. Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje. Lima, Perú. [200-]. 222 p.
- [13] Oliveras, J. (2014). El cálculo de ciudad de avenida en España...Método Racional Vs. Témez (Racional Modificado). Recuperado el 7 de Julio de 2015, de [www.hidrojing.com](http://www.hidrojing.com)
- [14] Datos de estación pluviométrica Caluma. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Quito, 2015.
- [15] Témez, J. R. Calculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Madrid, España, 1978. 113 p.
- [16] Uso de Suelos. Geodatabase. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). Quito, 2015.
- [17] BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis; BEVIÁ GARCÍA, José Francisco. Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 2000. Vol. 2.



- [18] ECUADOR. MINISTERIO de obras públicas y comunicaciones MOP – 001 – F 2002. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Quito, Ecuador. 2012. 772 p.
- [19] Flores Herrera, Cristian Xavier. Bases para el diseño de encausamientos de márgenes estables y de márgenes con protección de enrocado o pedraplén. Trabajo de graduación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas, 2013. 136 h.
- [20] ESPAÑA. MINISTERIO de fomento, Dirección General de Carreteras. Recomendaciones para el diseño y construcción de muros de escollera en obras de carreteras. Madrid, España. 1998. 55 p.
- [21] Velez, S. (2014). La Guadua Angustifolia “El Bambú Colombiano”. Colombia.
- [22] Navarro, S. (2008). Manual de Bioingeniería. Nicaragua.

## CONSULTADA

- [23] Aguilar, A. A. (2007). Manual básico para el análisis de una cuenca hidrográfica. Osorno, Chile: Universidad de los Lagos.
- [24] ESPAÑA. MINISTERIO de fomento, Dirección General de Carreteras. Guia para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carreteras. Madrid, España. 2006. 66 p.
- [25] Geodatabase Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Geoportal Quito, 2010. Esc. 1:50000.
- [26] Monroy, C. R. Proyecto de ejecución de la fase de encausamiento del rio Ciloría del proyecto de urbanización de la unidad de ejecución 8 de Ezcaray. Logroño, España, 2014. 23 p.
- [27] Montoya, A. B. Apuntes de clase del curso de hidrología. Guayaquil. [s.a].

- [28] MÉXICO. SECRETARÍA de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas. Ciudad de México, México. [200-]. 20 p.
- [29] Sánchez, F. J. (2012). Hidrología superficial (III): relación precipitación - escorrentía. Salamanca, España: Universidad Salamanca.
- [30] Terreros, C. Mecánica de suelos. Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. 2000. 200 p.