

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

**“DISEÑO DEL NUEVO RELLENO SANITARIO DE BABAHOYO,  
VINCULADO AL CONTROL DE INUNDACIONES”**

**PROYECTO DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Presentado por:

**JENNY ROSANNA ANZULES RUIZ**

**JOYCE ADAMARIA OVIEDO RIVERA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

Año: 2016

# **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios ser maravilloso por permitirme llegar hasta aquí, a mis padres que fueron mis mayores promotores durante este proceso. Agradezco profundamente a todas las personas que fueron participes de este proyecto ya sea de manera directa o indirecta.

Jenny Rosanna Anzules Ruiz.

# AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mi Mamá Brígida y hermana Givanna por ser mis mayores ejemplos a seguir, a mi familia, amigos y personas especiales en mi vida, que a través de su apoyo me ayudan a ser mejor día a día, a nuestro director de Tesis el PhD. Miguel Ángel Chávez Moncayo por dedicarnos su tiempo e impartirnos sus conocimientos, a mi compañera de tesis porque hemos alcanzado nuestra meta.

Joyce Adamaría Oviedo Rivera.

# DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Juan y Marjorie, por sus esfuerzos, consejos, apoyo incondicional y paciencia. A mis hermanos, familia y amigos por el aliento que supieron transmitirme a lo largo de mi vida y carrera.

Jenny Rosanna Anzules Ruiz.

# DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por permitirme culminar esta hermosa etapa de mi vida, a la Virgen María por estar presente en mis días, a mi Mamá Brígida por sus valiosas palabras de aliento, a mi familia y personas especiales en mi vida que han ayudado en mi formación profesional y personal.

Joyce Adamaría Oviedo Rivera.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

PhD. Miguel Ángel Chávez  
Moncayo  
DIRECTOR DEL  
PROYECTO

---

M.Sc. Alby del Pilar Aguilar  
Pesantes  
COORDINADORA DE  
INGENIERIA CIVIL

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

---

Jenny Rosanna Anzules Ruiz

---

Joyce Adamaría Oviedo Rivera

## RESUMEN

El presente anteproyecto, muestra el diseño de un relleno sanitario para el cantón Babahoyo, el cual estará vinculado al control de inundaciones. Se presenta alternativas de lugares, donde ubicar la obra de saneamiento; y se escogió la opción más factible, considerando restricciones en base a la ubicación del terreno y el análisis ambiental de la construcción del relleno en estos.

Se determinó que la alternativa viable en este trabajo, es la ubicación del Relleno Sanitario en el área contigua al antiguo botadero del cantón, puesto que, esta es extensa, no está cerca de la población y tiene una vía de acceso transitable durante todo el año.

Cabe recalcar que el terreno es una planicie afectada por avenidas en época invernal, por esta razón se propuso la construcción de un terraplén para elevar el nivel del terreno, y así evitar que este fenómeno afecte a la obra de saneamiento.

El relleno sanitario, está vinculado al control de inundaciones del cantón, puesto que el material de azolve del río Babahoyo, compuesto de arenas,



será usado para la construcción del terraplén. El dragado de este material, ampliará el cauce del río, ocasionando que este no se desborde hacia las planicies en época de lluvias.

También, se realizó un presupuesto referencial donde se muestra el costo de la construcción del relleno sanitario, en el terreno seleccionado para este proyecto. Un corto análisis de impacto ambiental demuestra los efectos positivos y negativos que ocasionan la construcción de la obra al ecosistema.

## INDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| RESUMEN.....  | VIII |
| INDICE GENERAL.....   | XI   |
| ABREVIATURAS.....   | XII  |
| SIMBOLOGIA.....   | XII  |
| INDICE DE FIGURAS.....  | XVI  |
| INDICE DE TABLAS.....   | XVII |
| INDICE DE ECUACIONES.....                                     | XX   |
| CAPITULO I.....   | 1    |
| 1. Introduccion.....  | 1    |
| 1.1 Introducción.....   | 1    |
| 1.2 Antecedentes.....   | 3    |
| 1.2.1 Datos Generales del Cantón Babahoyo.....                | 3    |
| 1.2.2 Descripción del Proyecto.....                           | 4    |
| 1.3 Justificación.....  | 5    |
| 1.4 Objetivos.....  | 6    |
| 1.4.1 Objetivo General.....                                   | 6    |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....                              | 6    |
| 1.5 Metodología empleada.....                                 | 6    |
| CAPITULO II.....  | 8    |
| 2. Analisis de lainformacion disponible.....                  | 8    |
| 2.1 Carta Topográfica.....                                    | 8    |
| 2.2 Aspectos climáticos.....                                  | 9    |
| 2.3 Hidrografía y Orografía.....                              | 12   |
| 2.4 Datos de la población.....                                | 12   |
| CAPITULO III.....   | 14   |
| 3. Trabajo de campo.....                                      | 14   |
| 3.1 Reconocimiento de las áreas disponibles.....              | 14   |
| 3.2 Determinación de las áreas dirigidas para estudio.....    | 16   |
| 3.2.1 Cerro Cachari.....                                      | 16   |
| 3.2.2 Terreno Contiguo al Botadero actual de Babahoyo.....    | 18   |
| 3.2.3 Terreno Vía Babahoyo - Montalvo.....                    | 19   |
| 3.3 Trabajo de Campo.....                                     | 20   |
| 3.3.1 Topografía.....   | 20   |
| 3.3.2 Geología y Geotecnia.....                               | 21   |
| 3.3.3 Localización de préstamos y canteras.....               | 23   |
| 3.3.4 Otros Materiales de Construcción.....                   | 26   |
| 3.4 Estudio del cauce de los ríos.....                        | 32   |
| CAPITULO IV.....  | 39   |
| 4. Ensayos de mecánica de suelos.....                         | 39   |
| 4.1 Terreno Sector Botadero de basura actual de Babahoyo..... | 39   |
| 4.2 Ríos Babahoyo y Montalvo.....                             | 43   |
| 4.2.1 Contenido de humedad.....                               | 43   |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| 4.2.2         | Granulometría.....  | 45  |
| 4.2.3         | Límites de Atterbeg.....  | 47  |
| 4.2.4         | Clasificación de suelos.....  | 50  |
| CAPITULO V    | .....   | 51  |
| 5.            | Trabajo de gabinete.....  | 51  |
| 5.1           | Estudio hidrológico de los cauces.....  | 51  |
| 5.1.1         | Subcuenca del río Babahoyo.....   | 51  |
| 5.1.2         | Análisis Hidrológico de la Cuenca.....  | 56  |
| CAPITULO VI   | .....   | 82  |
| 6.            | Determinación de la producción diaria de basura en babahoyo.....  | 82  |
| 6.1           | Recolección de residuos sólidos.....  | 82  |
| 6.2           | Caracterización de residuos sólidos.....  | 83  |
| 6.3           | Producción Per cápita de residuos sólidos.....  | 84  |
| CAPITULO VII  | .....   | 87  |
| 7.            | Alternativas para la disposición final de los desechos sólidos.....   | 87  |
| 7.1           | Alternativa 1: Ubicación del Relleno Sanitario en el Sector del Cerro Cachari.....  | 87  |
| 7.2           | Alternativa 2: Ubicación del Relleno Sanitario en un área localizada en las cercanías del Cantón Montalvo.....            | 89  |
| 7.3           | Alternativa 3: Ubicación del Relleno Sanitario en el área contigua al antiguo botadero de basura del Cantón Babahoyo..... | 91  |
| 7.4           | Restricciones para la selección de la alternativa más conveniente.....  | 93  |
| 7.4.1         | Selección por ubicación del terreno.....  | 93  |
| 7.4.2         | Selección por análisis ambiental.....   | 95  |
| 7.5           | Alternativa seleccionada.....   | 97  |
| 7.5.1         | Selección por ubicación del terreno.....  | 97  |
| 7.5.2         | Selección por análisis ambiental.....   | 98  |
| CAPITULO VIII | .....   | 100 |
| 8.            | Vinculación de un proyecto de relleno sanitario con soluciones para el control de inundaciones.....                       | 100 |
| 8.1           | Disponibilidad de Material de azolve.....   | 100 |
| 8.2           | Estimación de Volúmenes de Materiales disponibles.....  | 101 |
| CAPITULO IX   | .....   | 103 |
| 9.            | Diseños.....  | 103 |
| 9.1           | Área de emplazamiento.....  | 103 |
| 9.1.1         | Elevación del nivel del terreno.....  | 103 |
| 9.1.2         | Drenaje subterráneo en el área de emplazamiento.....  | 106 |
| 9.2           | Determinación de la celda diaria, características geométricas.....  | 107 |
| 9.2.1         | Diseño de la celda diaria.....  | 108 |
| 9.3           | Manejo de lixiviados.....   | 118 |

|                                |  |     |
|--------------------------------|--|-----|
| 9.4                            | Manejo de gases.....   | 121 |
| 9.5                            | Otros elementos.....   | 123 |
| 9.5.1                          | Cuneta.....  | 123 |
| 9.5.2                          | Cerca Viva.....  | 123 |
| 9.6                            | Estabilidad del cuerpo de relleno sanitario.....   | 123 |
| CAPITULO X.....                |  | 129 |
| 10.                            | Estudio ambiental aplicado al proyecto.....  | 129 |
| 10.1                           | Antecedentes.....  | 129 |
| 10.2                           | Marco Legal.....   | 130 |
| 10.2.1                         | Constitución de la República del Ecuador.....  | 130 |
| 10.2.2                         | Ley de Gestión Ambiental.....  | 130 |
| 10.2.3                         | Ley Orgánica de Régimen Municipal.....   | 135 |
| 10.2.4                         | Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.....   | 136 |
| 10.2.5                         | Reformas del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Libro VI, Título I del Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA..) | 137 |
| 10.2.6                         | Ley Orgánica de Salud.....   | 139 |
| 10.2.7                         | Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional 2393, del Ministerio del Trabajo.....  | 139 |
| 10.3                           | Línea base.....  | 140 |
| 10.4                           | Determinación de Impacto Ambiental del Proyecto.....   | 142 |
| 10.4.1                         | Medidas de Mitigación.....   | 142 |
| 10.5                           | Valoración de impacto ambiental (VIA).....   | 143 |
| 10.5.1                         | Plan de Manejo Ambiental.....  | 144 |
| 10.6                           | Plan de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial.....  | 149 |
| 10.7                           | Plan de Contingencia.....  | 150 |
| 10.8                           | Presupuesto de Costo de Obra.....  | 152 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES |  |     |
| Conclusiones.....              |  | 171 |
| Recomendaciones.....           |  | 173 |
| ANEXO                          |  |     |
| BIBLIOGRAFIA                   |  |     |

# ABREVIATURAS

|        |   |
|--------|---|
| IDF    | Intensidad Duración Frecuencia                  |
| IGM    | Instituto Geográfico Militar                    |
| INAHMI | Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología |
| INEC   | Instituto Nacional de Estadística y Censos      |
| PVC    | Policloruro de vinilo                           |
| USCS   | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos    |

# SIMBOLOGIA

|          |   |
|----------|---|
| %        | Porcentaje  |
| °C       | Grados centígrados  |
| $\alpha$ | Parámetro de forma  |
| $\Phi$   | Ángulo de fricción  |
| $\Phi$   | Diámetro  |
| A        | Área  |
| Ac       | Área de la celda diaria.  |
| B        | Ancho medio de la cuenca  |
| C        | Coefficiente de escorrentía   |
| CDrs     | Cantidad diaria de residuos sólidos municipales en el relleno                           |
| CN       | Número de curvatura   |
| DA       | Desnivel altitudinal del cauce  |
| Dd       | Densidad de drenaje   |
| Drs      | Densidad de los residuos sólidos municipales ecién compactados en el relleno sanitario. |
| hc       | Altura de la celda  |
| Hab      | Habitante   |
| Hr       | Hora  |
| i        | Índice de Crecimiento   |
| I        | Intensidad de lluvia  |
| j        | Pendiente media del cauce   |
| K        | Coefficiente de uniformidad   |

# SIMBOLOGIA

|                 |   |
|-----------------|---|
| K,m,m           | Parámetros de ajuste                            |
| K <sub>A</sub>  | Factor reductor                                 |
| K <sub>c</sub>  | Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad |
| K <sub>f</sub>  | Coeficiente de forma                            |
| K <sub>g</sub>  | Kilogramo                                       |
| K <sub>m</sub>  | Kilómetro                                       |
| Km <sup>2</sup> | Kilómetro cuadrado                              |
| L <sub>c</sub>  | Longitud del cauce principal de la cuenca       |
| Log             | Logaritmo                                       |
| m               | Metro   |
| m <sup>2</sup>  | Metro cuadrado                                  |
| m <sup>3</sup>  | Metro cubico                                    |
| min             | Minuto  |
| mm              | Milímetro                                       |
| n               | Población Final del Período                     |
| N               | Número de golpes                                |
| P               | Perímetro                                       |
| P               | Precipitación                                   |
| P               | Precipitación máxima corregida                  |
| P <sub>d</sub>  | Precipitación máxima diaria                     |
| P <sub>f</sub>  | Población Final del Período                     |
| P <sub>i</sub>  | Población Inicial del Período                   |
| P <sub>o</sub>  | Umbral de escorrentía                           |

# SIMBOLOGIA

|     |   |
|-----|---|
| Q   | Caudal                                  |
| RSM | Residuos sólidos municipales.           |
| S   | Desviación Estándar                     |
| S   | Pendiente promedio                      |
| t   | Tiempo de duración                      |
| T   | Periodo de retorno                      |
| Tc  | Tiempo de concentración                 |
| Ton | Tonelada                                |
| u   | Moda                                    |
| Vc  | Volumen de la celda diaria.             |
| W   | Contenido de humedad (%)                |
| W1  | Peso del recipiente más el suelo húmedo |
| W2  | Peso del recipiente más el suelo seco   |
| WI  | Límite líquido                          |
| Wt  | Peso del recipiente                     |
| X   | Media                                   |



## INDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 1.1</b> Distribución Poblacional Censo INEC 2010.....                     | 4   |
| <b>Figura 3.1</b> Cerro Cachari.....  | 17  |
| <b>Figura 3.2</b> Terreno póstumo a diseño.....                                     | 18  |
| <b>Figura 3.3</b> Botadero actual.....  | 19  |
| <b>Figura 3.4</b> Terreno Baldío.....   | 20  |
| <b>Figura 3.5</b> Plano Topográfico Babahoyo.....                                   | 21  |
| <b>Figura 3.6</b> Ubicación de la Mina El Placer.....                               | 24  |
| <b>Figura 3.7</b> Ubicación de la Mina La Clara.....                                | 25  |
| <b>Figura 3.8</b> Dragado en el río Babahoyo en unión<br>con el río Clementina..... | 26  |
| <b>Figura 3.9</b> Geotextil aplicado en un relleno sanitario.....                   | 30  |
| <b>Figura 3.10</b> Características de la Caña<br>de Guadua.....                     | 31  |
| <b>Figura 3.11</b> Río Babahoyo.....  | 32  |
| <b>Figura 3.12</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 0+200m.....             | 33  |
| <b>Figura 3.13</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 0+400m.....             | 34  |
| <b>Figura 3.14</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 0+600m.....             | 34  |
| <b>Figura 3.15</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 0+800m.....             | 35  |
| <b>Figura 3.16</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 1+000m.....             | 35  |
| <b>Figura 3.17</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 1+200m.....             | 36  |
| <b>Figura 3.18</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 1+400m.....             | 36  |
| <b>Figura 3.19</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 1+600m.....             | 37  |
| <b>Figura 3.20</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 1+800m.....             | 37  |
| <b>Figura 3.21</b> Perfil Transversal del río Babahoyo cota 2+000m.....             | 38  |
| <b>Figura 4.1</b> Granulometría del Río Babahoyo.....                               | 46  |
| <b>Figura 4.2</b> Granulometría del Río Cristal.....                                | 47  |
| <b>Figura 5.1</b> Subcuencas Hidrográficas de la Cuenca del Guayas.....             | 52  |
| <b>Figura 5.2</b> Regresión T= 2 años.....  | 65  |
| <b>Figura 5.3</b> Regresión T= 5 años.....  | 66  |
| <b>Figura 5.4</b> Regresión T= 10 años.....   | 67  |
| <b>Figura 5.5</b> Regresión T= 20 años.....   | 68  |
| <b>Figura 5.6</b> Regresión T= 50 años.....   | 69  |
| <b>Figura 5.7</b> Regresión T= 100 años.....  | 70  |
| <b>Figura 5.8</b> Regresión potencial.....  | 72  |
| <b>Figura 5.9</b> Curva IDF de la cuenca.....                                       | 73  |
| <b>Figura 7.1</b> Ubicación de la Alternativa 1.....                                | 89  |
| <b>Figura 7.2</b> Ubicación de la alternativa 2.....                                | 91  |
| <b>Figura 7.3</b> Ubicación de la Alternativa 3.....                                | 92  |
| <b>Figura 9.1</b> Perfil del Terraplén.....   | 104 |
| <b>Figura 9.2</b> Detalle del uso de geotextil.....                                 | 105 |
| <b>Figura 9.3</b> Pantallas drenantes.....  | 106 |
| <b>Figura 9.4</b> Cobertura de celdas diarias.....                                  | 114 |
| <b>Figura 9.5</b> Cobertura final.....  | 115 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 9.6</b> Rampas.....  | 117 |
| <b>Figura 9.7</b> Sistemas de drenaje de lixiviados.....   | 119 |
| <b>Figura 9.8</b> Filtro de lixiviados principal.....  | 120 |
| <b>Figura 9.9</b> Filtro de lixiviados secundario.....   | 120 |
| <b>Figura 9.10</b> Detalle de la chimenea.....   | 122 |
| <b>Figura 9.11</b> Análisis de estabilidad de taludes<br>con el programa Galeno.....               | 125 |
| <b>Figura 9.12</b> Corrida 1 Análisis sin consideración sismicidad.....                            | 126 |
| <b>Figura 9.13</b> Corrida 2 Análisis considerando sismicidad<br>aceleración sísmica de 0,20g..... | 127 |
| <b>Figura 9.14</b> Corrida 3 Análisis considerando sismicidad<br>aceleración sísmica de 0,40g..... | 127 |
| <b>Figura 9.15</b> Corrida 4 Análisis considerando sismicidad<br>aceleración sísmica de 0,50g..... | 128 |
| <b>Figura 10.1</b> Ubicación del relleno a construirse.....  | 140 |
| <b>Figura 10.2</b> Área del proyecto.....  | 141 |

## INDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla I.</b> Datos referenciales de las cartas topográficas.....  | 8   |
| <b>Tabla II.</b> Registros Meteorológicos de Precipitación.....  | 10  |
| <b>Tabla III.</b> Registros Meteorológicos de Evaporación.....   | 11  |
| <b>Tabla IV.</b> Relación Precipitación/Evaporación.....   | 11  |
| <b>Tabla V.</b> Proyección de la población total del cantón Babahoyo.....  | 13  |
| <b>Tabla VI.</b> Clasificación del suelo de Babahoyo.....  | 23  |
| <b>Tabla VII.</b> Propiedades físicas de la Geomembrana de polietileno de alta resistencia.....                      | 28  |
| <b>Tabla VIII.</b> Propiedades físicas de la Geomembrana de PVC.....   | 29  |
| <b>Tabla IX.</b> Perforaciones con ensayo SPT Fuente: GAD de Babahoyo.....   | 39  |
| <b>Tabla X.</b> Ensayos de suelo Fuente: GAD de Babahoyo.....  | 42  |
| <b>Tabla XI.</b> Contenido de humedad.....   | 44  |
| <b>Tabla XII.</b> Resultados de la granulometría del Río Babahoyo.....   | 45  |
| <b>Tabla XIII.</b> Resultados de la granulometría del Río Cristal.....   | 46  |
| <b>Tabla XIV.</b> Límite Líquido del Río Babahoyo.....   | 48  |
| <b>Tabla XV.</b> Límite Líquido del Río Cristal.....   | 49  |
| <b>Tabla XVI.</b> Datos mensuales de precipitación.....  | 58  |
| <b>Tabla XVII.</b> Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.....                                | 59  |
| <b>Tabla XVIII.</b> Máximas precipitaciones probables.....   | 60  |
| <b>Tabla XIX.</b> Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.....                             | 61  |
| <b>Tabla XX.</b> Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.....                         | 61  |
| <b>Tabla XXI.</b> Intensidades de lluvia, según duración y frecuencia de precipitación.....                          | 62  |
| <b>Tabla XXII.</b> Regresiones I-D-T (T=2 años).....   | 65  |
| <b>Tabla XXIII.</b> Regresiones I-D-T (T=5 años).....  | 66  |
| <b>Tabla XXIV.</b> Regresiones I-D-T (T=10 años).....  | 67  |
| <b>Tabla XXV.</b> Regresiones I-D-T (T=20 años).....   | 68  |
| <b>Tabla XXVI.</b> Regresiones I-D-T (T=50 años).....  | 69  |
| <b>Tabla XXVII.</b> Regresiones I-D-T (T=100 años).....  | 70  |
| <b>Tabla XXVIII.</b> Resumen de aplicación de regresión potencial.....   | 71  |
| <b>Tabla XXIX.</b> Regresión potencial, valores de K y m.....  | 71  |
| <b>Tabla XXX.</b> Tabla de intensidades (mm).....  | 73  |
| <b>Tabla XXXI.</b> Parámetros de la Subcuenca del Río Babahoyo.....  | 74  |
| <b>Tabla XXXII.</b> Número de curva de escorrentía para usos de selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana..... | 79  |
| <b>Tabla XXXIII.</b> Proporciones y porcentajes de desechos sólidos.....   | 84  |
| <b>Tabla XXXIV.</b> Producción Per cápita de residuos sólidos.....   | 86  |
| <b>Tabla XXXV.</b> Volumen de Azolves del Río Babahoyo.....  | 102 |
| <b>Tabla XXXVI.</b> Cantidad de rollos de geotextil.....   | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla XXXVII.</b> Volumen de las celdas diarias y anuales..... | 110 |
| <b>Tabla XXXVIII.</b> Área de las celdas diarias y anuales.....   | 111 |
| <b>Tabla XXXIX.</b> Dimensiones de las celdas diarias.....        | 112 |
| <b>Tabla XL.</b> Niveles de las celdas diarias.....               | 113 |
| <b>Tabla XLI.</b> Altura del relleno sanitario.....               | 116 |

## INDICE DE ECUACIONES

|   |     |
|---|-----|
| (Ec. 1) Contenido de humedad.....                 | 44  |
| (Ec. 2) Límite líquido.....                       | 48  |
| (Ec. 3) Coeficiente de compacidad.....            | 53  |
| (Ec. 4) Coeficiente de forma.....                 | 54  |
| (Ec. 5) Pendiente media del cauce.....            | 55  |
| (Ec. 6) Intensidad de lluvia.....                 | 62  |
| (Ec. 7) Ecuación de Aparicio.....                 | 63  |
| (Ec. 8) Ecuación de Aparicio.....                 | 64  |
| (Ec. 9) Ecuación de Aparicio.....                 | 64  |
| (Ec. 10) Método racional modificado de Temez..... | 75  |
| (Ec. 11) Tiempo de concentración .....            | 75  |
| (Ec. 12) Coeficiente de uniformidad.....          | 76  |
| (Ec. 13) Coeficiente de simultaneidad.....        | 76  |
| (Ec. 14) Precipitación máxima corregida.....      | 76  |
| (Ec. 15) Intensidad de precipitación.....         | 77  |
| (Ec. 16) Coeficiente de escorrentía.....          | 78  |
| (Ec. 17) Umbral de escorrentía.....               | 78  |
| (Ec. 18) Volumen de la celda diaria.....          | 109 |
| (Ec. 19) Área de la celda diaria.....             | 109 |

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 Introducción

Desde comienzos de la humanidad se ha producido materiales desechados tras su vida útil, la cantidad y características de estos residuos sólidos por persona han incrementado con el paso del tiempo. La producción de los desechos está compuesta de un número de variables como el tipo de alimentación, uso de la tecnología, bienes ofrecidos según el tamaño de la población, el reciclaje, entre otros. [28]

Puesto que la generación de desechos sólidos es una parte insoluble de las actividades diarias que realiza una persona, es fundamental realizar un manejo adecuado de estos elementos desechables para prevenir y disminuir impactos ambientales. [3]

En la actualidad hay muchos botaderos a cielo abierto donde se deposita los residuos sólidos sin separación y tratamiento. Debido a que estos lugares son focos de contaminación, se ha desarrollado obras de saneamiento

(relleno sanitario) para manejar la basura de una forma más amigable con el ambiente.

Un relleno sanitario es uno de los métodos de disposición final de los desechos sólidos, donde diariamente se deposita y se confina la basura, luego se la cubre con capas de tierra y se compacta para reducir su volumen. Esta instalación debe ser diseñada y operada como una obra de saneamiento básica. [17]

El éxito de esta obra radica en la selección adecuada del sitio para el relleno, el diseño, su operación y control. Según el manual para el manejo adecuado de los residuos sólidos en medianos y pequeños municipios, es fundamental que el relleno sanitario se ubique en un predio con un área extensa para su construcción, disponga de una vía de acceso transitable durante todo el año, no se localice junto a lugares densamente poblados, que no se inunde, ni este expuesto a deslizamientos o asentamientos, entre otros factores.

En este proyecto, se desarrollara un diseño de un relleno sanitario para el cantón Babahoyo; puesto que, en la actualidad, no cuenta con esta obra de saneamiento. Además la obra estará vinculada con soluciones para el control de inundaciones, debido a que esta región del país se ve afectada por este fenómeno en época invernal.

## **1.2 Antecedentes**

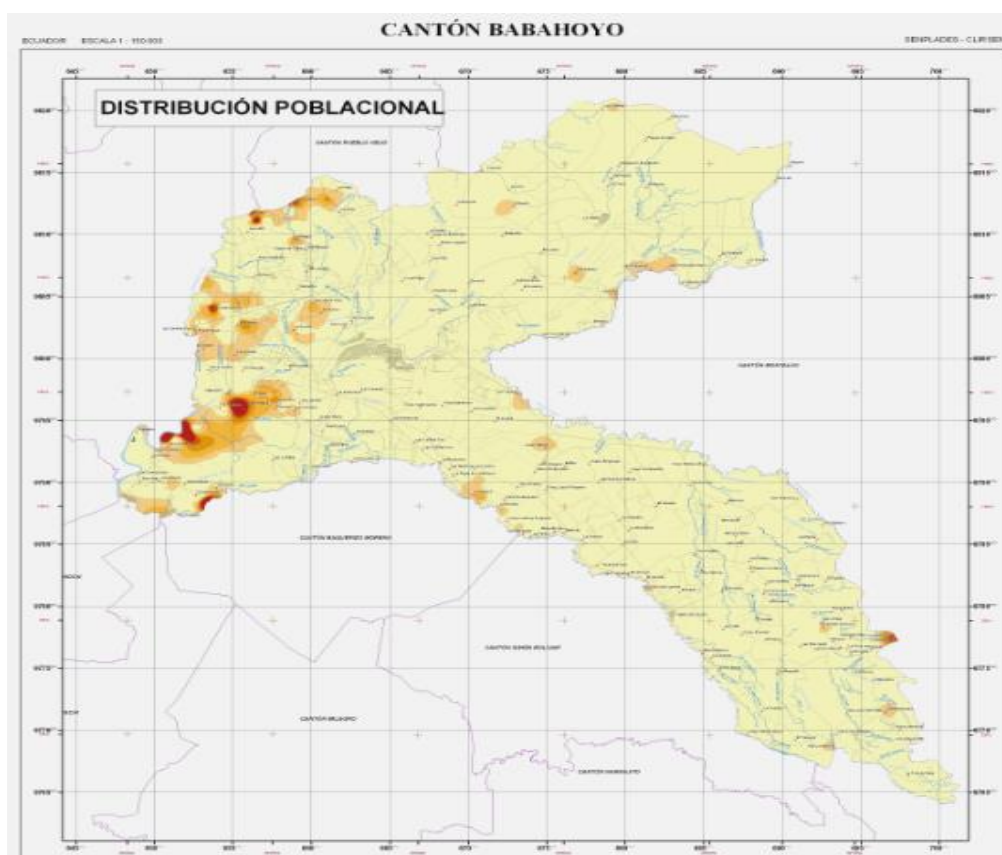
### **1.2.1 Datos Generales del Cantón Babahoyo**

El cantón Babahoyo capital de la Provincia de Los Ríos, con una extensión de 1076 Km<sup>2</sup>, está limitado al sur con la provincia del Guayas, al norte con los cantones de Baba, Puebloviejo y Urdaneta (Provincia de Los Ríos), al este con el cantón Montalvo (Provincia de Los Ríos) y al Oeste con la Provincia de Bolívar.

Su división política está estructurada por cuatro parroquias urbanas que son: Clemente Baquerizo, Dr. Camilo Ponce Enríquez, Barreiro y El Salto; y por cuatro parroquias rurales que son: Caracol, Pimocha, Febres – Cordero y La Unión.

Según los datos del Censo INEC 2010, cuenta con una población de 159,443 habitantes, de los cuales el 58.65 % corresponde a la población urbana y el 41.35 % corresponde a la población rural.





**Figura 1.1.** Distribución Poblacional Censo INEC 2010.  
**Fuente:** INEC

### 1.2.2 Descripción del Proyecto

En la actualidad la producción de residuos sólidos es de 0.625 kg/hab/día, se conoce que la población de Babahoyo genera 106 toneladas diarias de desechos. Mediante carros recolectores se recoge la basura, para luego trasladarla al botadero ubicado en el kilómetro 8 de la vía Babahoyo - Montalvo con una superficie de 6,1 hectáreas. En este lugar no se utilizan

métodos apropiados para controlar y prevenir los efectos de los desechos sobre el ambiente y la salud pública.

Dada esta situación, es importante disponer de otro método de disposición final para la basura generada por los habitantes del cantón, el cual debe ser técnico y sanitario.

### **1.3 Justificación**

Ante la creciente generación de desechos sólidos es necesario y esencial pronunciarse respecto a su gestión, manejo y disposición final. Estas actividades están ligadas con la conservación del ambiente y con la salud de la población.

En Babahoyo, el sistema de limpieza municipal, está integrado por: recolección, barrido, transferencia y disposición final de los desechos sólidos. Sin embargo, la disposición final de los residuos no es la adecuada, puesto que se los deposita en tiraderos a cielo abierto; provocando impactos negativos a la comunidad y a los recursos naturales del entorno.

Por lo anteriormente escrito, es sustancial implementar un relleno sanitario que garanticen el manejo y disposición segura de los desechos sólidos. Se

debe planear y diseñar esta obra de saneamiento para que su desarrollo y funcionamiento no altere la calidad de los recursos físicos naturales.

## **1.4 Objetivos**

### 1.4.1 Objetivo General

Diseñar un relleno sanitario para el cantón Babahoyo, el cual estará vinculado con soluciones para el control de inundaciones.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Presentar opciones de lugares donde ubicar el relleno sanitario.
- Diseñar la celda diaria para la obra de saneamiento.
- Plantear un drenaje adecuado para los lixiviados y gases generados por la descomposición de los residuos sólidos.

## **1.5 Metodología empleada**

Para el desarrollo del presente proyecto se ha realizado las siguientes actividades:

- a) Reconocimiento del Marco Legal ambiental y el de las actividades de operación.

- b) Visitas e inspecciones a los predios disponibles del cantón Babahoyo para ubicar el proyecto.
- c) Visitas al municipio del cantón para la obtención de documentos básicos para el desarrollo del proyecto.
- d) Revisión de la información proporcionada por la municipalidad del cantón y de otros archivos significativos como cartas topográficas y planos del sector en estudio.
- e) Elaboración del informe.

# CAPITULO II

## 2. ANALISIS DE LA INFORMACION DISPONIBLE

Para la ejecución de este proyecto se contó con información disponible de varias fuentes.

### 2.1 Carta Topográfica

Se cuenta con la carta topográfica del cantón Babahoyo, Montalvo y Simón Bolívar proporcionadas por el instituto Geográfico Militar (IGM). Estas cartas topográficas, se utilizaron para analizar la topografía de los cantones, ubicación de los poblados, obras de infraestructura y vías de acceso.

**Tabla I:** Datos referenciales de las cartas topográficas.

| DATOS REFERENCIALES | CARTAS TOPOGRÁFICAS |          |               |
|---------------------|---------------------|----------|---------------|
|                     | Babahoyo            | Montalvo | Simón Bolívar |
| Sigla Nacional      | NIV E2              | NIV F1   | NIV F3        |
| Sigla Internacional | 3688 I              | 3788 IV  | 3788 III      |
| Serie               | J721                | J721     | J721          |
| Edición             | 3                   | 2        | 2             |

En el Anexo 1, se muestran las cartas topográficas a escala 1:50000, del cantón Babahoyo, Montalvo y Simón Bolívar respectivamente.

## **2.2 Aspectos climáticos**

El cantón Babahoyo tiene un clima cálido-lluvioso con una temperatura promedio anual de 24°C. En época invernal se han registrado inundaciones en la zona urbana del cantón.

Se tomó la información dada por la estación Meteorológica de la universidad Técnica de Babahoyo (Ver anexo 2) para conocer los aspectos climáticos. De los registros de la estación, se elaboró las tablas II, III y IV donde se muestra los datos de la precipitación, evaporación y la relación precipitación evaporación respectivamente.

**Tabla II:** Registros Meteorológicos de Precipitación.

| Precipitación (mm) |       |       |       |       |       |      |       |      |      |      |      |       |        |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|--------|-------|
| Año                | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun  | Jul   | Agos | Sept | Oct  | Nov  | Dic   | Suma   | Prom  |
| 2000               | 222,9 | 415,7 | 732,5 | 208,5 | 207   | 104  | 0,4   | 0,5  | 8    | nr   | 0    | 54,2  | 1438   | 240,8 |
| 2001               | 562,6 | 608   | 664,2 | 430,5 | 24,5  | 0,3  | 1,9   | 0,6  | 0,5  | 1,3  | 1,5  | 6,8   | 1562   | 130   |
| 2002               | 77,1  | 540,8 | 565,2 | 551,6 | 101   | 5,2  | 0,2   | 0,3  | 0,4  | 139  | 5,9  | 63,8  | 2048   | 171   |
| 2003               | 177,8 | 491   | 347,7 | 397   | 38,4  | 9,1  | nr    | 1,5  | 0,4  | 6    | 32,5 | 210   | 1594   | 133   |
| 2004               | 105,4 | 580,7 | 418,6 | 333   | 77,6  | 11,9 | 0,9   | 0    | 4,8  | 6,3  | 0,6  | 1,6   | 2791   | 233   |
| 2005               | 36,4  | 109,2 | 295,5 | 328,5 | 1,9   | 0,3  | 1,6   | 0,1  | 0,1  | 0,8  | 0,4  | 160,6 | 1415   | 118   |
| 2006               | 278,3 | 618,5 | 371,8 | 77    | 20,5  | 4,1  | 1     | 1,6  | 1,6  | 0,7  | 13,7 | 45,3  | 1434   | 119   |
| 2007               | 279,4 | 243,9 | 415,2 | 349,6 | 53,6  | 17,8 | 1,3   | 0,7  | 0,2  | 3,3  | 2    | 47,9  | 935    | 77    |
| 2008               | 525   | 656,8 | 836,5 | 635,4 | 112,3 | 3    | 1,2   | 4,6  | 3,4  | 3,1  | 6,9  | 3,2   | 1541   | 128   |
| 2009               | 526,7 | 479,7 | 341   | 69    | 54,5  | 17,5 | 0,1   | 0    | 0,2  | 3,1  | 0,2  | 102,2 | 1715   | 143   |
| 2010               | 207,3 | 632,6 | 289,7 | 382   | 142,1 | 4,9  | 7,3   | 0,8  | 2,6  | 0    | 6,4  | 372,3 | 2050   | 171   |
| 2011               | 289,4 | 386,6 | 154,3 | 524,4 | 1,9   | 31   | 104,4 | 0,4  | 3,6  | 0,3  | 8,6  | 57,4  | 2303   | 192   |
| 2012               | 516,1 | 106,3 | 103,9 | 380,6 | 325,9 | 4,6  | 0     | nr   | nr   | nr   | nr   | nr    | 1954   | 163   |
| Prom/m             | 292,7 | 451,5 | 425,9 | 359,0 | 89,3  | 16,4 | 10,3  | 0,9  | 2,1  | 14,9 | 6,6  | 93,8  | 1763,0 | 147   |
| Prom/d             | 9,44  | 16,13 | 13,74 | 11,97 | 2,88  | 0,55 | 0,33  | 0,03 | 0,07 | 0,48 | 0,22 | 3,03  | 483    | 4,74  |

**Fuente:** EARTHGREEN S.A

Se puede observar que los meses donde se registran los valores máximos de precipitación son desde enero a mayo. La máxima lluvia mensual es de 836.5 mm registrada en marzo del 2008 y el máximo promedio anual es de 2791 mm, asentada en el mismo año. La época seca del año, comprende los meses de junio a diciembre.

**Tabla III:** Registros Meteorológicos de Evaporación.

| Evaporación (mm) |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       |       |      |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Año              | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun  | Jul  | Agos  | Sept  | Oct   | Nov   | Dic   | Suma  | Prom |
| 2000             | 114,7 | 103,5 | 119,5 | 125   | 89,8  | 76,9 | 74   | 94,4  | 96,8  | 109,8 | 108,6 | 115,7 | 1229  | 102  |
| 2001             | 106,2 | 97,6  | 123,8 | 131,9 | 84,2  | 77,4 | 80,7 | 75,4  | 114,7 | 120,8 | 127,6 | 122,4 | 1263  | 105  |
| 2002             | 124,3 | 81,6  | 129,5 | 108,3 | 99,3  | 90,7 | 97,9 | 89,9  | 106,7 | 103,2 | 105,4 | 111,6 | 1248  | 104  |
| 2003             | 95,6  | 104   | 131,7 | 128,2 | 100,9 | 64,5 | 74,8 | 79,6  | 105,2 | 110,4 | 115,3 | 115,8 | 1226  | 102  |
| 2004             | 130,2 | 100,2 | 114,8 | 107,4 | 93,3  | 71,5 | 69,7 | 99,8  | 102,4 | 118,6 | 129,3 | 174,1 | 1311  | 109  |
| 2005             | 141,8 | 84,5  | 109,7 | 102,1 | 100,5 | 76,8 | 82,6 | 93,3  | 114,6 | 101,7 | 110,7 | 106,9 | 1225  | 102  |
| 2006             | 118,3 | 84,5  | 139,1 | 123,9 | 109,1 | 88,9 | 89,4 | 104,1 | 117,5 | 140,7 | 113   | 126,1 | 1355  | 113  |
| 2007             | 97,6  | 115,5 | 120,5 | 123   | 82,8  | 72,5 | 92,9 | 91,6  | 111,1 | 97,8  | 115,4 | 123,9 | 1245  | 104  |
| 2008             | 67,5  | 96,4  | 130,6 | 133,7 | 98,8  | 80,9 | 88   | 92,5  | 101,5 | 113,6 | 124,4 | 139,1 | 1267  | 106  |
| 2009             | 97,5  | 90    | 120,7 | 134,3 | 128,1 | 79,7 | 86,9 | 99    | 117,1 | 132,5 | 136,8 | 109,5 | 1332  | 111  |
| 2010             | 98,5  | 89    | 109,9 | 113,4 | 101,4 | 77,9 | 79,5 | 92,7  | 93,3  | 106,4 | 91,1  | 79,8  | 1133  | 94   |
| 2011             | 108,3 | 108,6 | 153,8 | 122,3 | 122,9 | 83   | 75,9 | 86,3  | 116,7 | 111   | 142,6 | 144   | 1375  | 115  |
| 2012             | 84,8  | 82,6  | 100,9 | 263,4 | 112,1 | 97,9 | nr   | nr    | nr    | nr    | nr    | nr    | 741,7 | 124  |
| Prom/m           | 106,6 | 95,2  | 123,4 | 132,1 | 101,8 | 79,9 | 82,7 | 91,6  | 108,1 | 113,9 | 118,4 | 122,4 | 1,2   | 107  |
| Prom/d           | 3,44  | 3,40  | 3,98  | 4,40  | 3,28  | 2,66 | 2,67 | 2,95  | 3,60  | 3,67  | 3,95  | 3,95  | 3,50  | -    |

Fuente: EARTHGREEN S.A.

**Tabla IV:** Relación Precipitación/Evaporación

| Año        | Relación<br>Precipitación/Evaporación |
|------------|---------------------------------------|
| Enero      | 2,74                                  |
| Febrero    | 4,74                                  |
| Marzo      | 3,45                                  |
| Abril      | 2,72                                  |
| Mayo       | 0,88                                  |
| Junio      | 0,21                                  |
| Julio      | 0,12                                  |
| Agosto     | 0,01                                  |
| Septiembre | 0,02                                  |
| Octubre    | 0,13                                  |
| Noviembre  | 0,06                                  |
| Diciembre  | 0,77                                  |

Fuente: EARTHGREEN S.A.



La tabla III muestra que la evaporación varía muy poco en el tiempo. La evaporación es menor que la precipitación durante los meses de enero a abril; lo que indica que se debe tener mayor control de los lixiviados, ya que la generación de estos aumenta en los meses mencionados. De la tabla IV se observa que los valores cercanos y mayores a la unidad revelan que los valores de las precipitaciones son altos en los meses donde están registrados.

### **2.3 Hidrografía y Orografía**

Mediante los planos topográficos e imágenes satelitales obtenidas del programa informático Google Earth, se pudo determinar la hidrografía y orografía de este.

El río principal es el Babahoyo, que recibe las aguas de sus afluentes: caracol, San Pablo, Vinces, Pueblo Viejo, Yaguachi y Zapotal. El relieve no muestra mayores accidentes geográficos, la mayor parte del terreno es llano. Entre la elevación principal, está el “Cerro Cachari” ubicado a 8,5 km al noroeste del cantón.

### **2.4 Datos de la población**

Con la información del censo de Población y Vivienda 2010 y la del departamento de planificación urbana del cantón Babahoyo, se obtuvo la

proyección cantonal total hasta el año 2036 (Ver tabla V). Según la información censal del 2010, en Babahoyo hay 159.443 habitantes y la tasa de crecimiento poblacional es del 2.1%; para el cálculo se empleó la fórmula exponencial de población  $P_f = P_i (1+i)^n$ .

**Tabla V:** Proyección de la población total del cantón Babahoyo.

| Año  | Población (urbana y rural) |
|------|----------------------------|
| 2016 | 169.523                    |
| 2017 | 171.038                    |
| 2018 | 172.502                    |
| 2019 | 173.917                    |
| 2020 | 175.281                    |
| 2021 | 178.787                    |
| 2022 | 182.362                    |
| 2023 | 186.010                    |
| 2024 | 189.730                    |
| 2025 | 193.524                    |
| 2026 | 197.395                    |
| 2027 | 201.343                    |
| 2028 | 205.370                    |
| 2029 | 209.477                    |
| 2030 | 213.667                    |
| 2031 | 217.940                    |
| 2032 | 222.299                    |
| 2033 | 226.745                    |
| 2034 | 231.280                    |
| 2035 | 235.905                    |

# **CAPITULO III**

## **3. TRABAJO DE CAMPO**

### **3.1 Reconocimiento de las áreas disponibles**

Para la construcción de un relleno sanitario, es importante realizar un estudio del terreno en donde se piensa construir. Se puede tener más de un área disponible para construir esta obra, sin embargo, se deberá escoger el más factible acorde a las ventajas y desventajas en la fase de construcción y mantenimiento.

El lugar donde se debe ubicar el relleno, debe estar situado cerca de alguna vía principal, con la finalidad de permitir el fácil ingreso de los camiones de basura al sitio, para descargar los residuos y a la vez puedan salir sin ningún tipo de inconveniente. Cabe recalcar que esta vía deberá contar con un mantenimiento periódico, debido a que es usada por estos transportes pesados.

Se deberá evaluar la geología, geomorfología y geotecnia del terreno, para determinar el tipo de suelo, así como la permeabilidad de este. Al mismo

tiempo se deberá realizar un análisis para determinar las condiciones hidrogeológicas del lugar donde se ubicará el relleno sanitario.

Para la construcción del relleno sanitario es importante a través de un estudio hidrológico conocer el nivel freático o aguas subterráneas para adoptar medidas preventivas en la construcción de la obra, así como tener antecedentes de los datos de precipitaciones para el cálculo de producción de lixiviados.

El área a seleccionar para la construcción del relleno deberá ofrecer material en cantidad y calidad para la cobertura del terreno, esto de fácil extracción, por el contrario, si no se tiene dicho material, se deberá contar con yacimientos para coberturas que estén situados en lugares cercanos al relleno.

Debido a los recientes movimientos telúricos presentes en el país, es importante analizar los movimientos sísmicos del sector, así como de otros fenómenos naturales. Y por último se deberá contar con el fiel cumplimiento de las normas ambientales, así como las normas de buen funcionamiento de la obra de saneamiento.

### **3.2 Determinación de las áreas dirigidas para estudio**

Para la construcción del relleno sanitario de Babahoyo, se realizará un estudio de las siguientes áreas, para determinar la más correcta para el diseño. Las áreas a estudiar son las siguientes:

#### **3.2.1 Cerro Cachari**

Ubicado a 8,5 Km de la ciudad de Babahoyo, y situado en la parroquia de Barreiro, es un macizo rocoso constituido por una roca ígnea intrusiva ácida muy fracturada, se encuentra rodeado de una planicie aluvial amplia, donde se puede observar la existencia de bloques rocosos de grandes dimensiones, formando cavernas.



**Figura 3.1:** Cerro Cachari.  
**Fuente:** Autoras

En sus alrededores se encuentra rodeado por sembríos de arroz, y su fauna son de reptiles y mamíferos como tigrillos, este cerro tiene una elevación no mayor de 500 metros sobre el nivel del mar, su temperatura es alrededor de 34 °C.

Debido a que sus alrededores se encuentran sembríos de arroz entre otros, el acceso a este sector, es a través de una carretera tipo V en mal estado.

### 3.2.2 Terreno Contiguo al Botadero actual de Babahoyo

Ubicado a 8 km de la vía Babahoyo – Montalvo, siendo una carretera tipo 1, este se encuentra rodeado de una planicie aluvial, en donde sus alrededores se encuentran sembríos de arroz.



**Figura 3.2:** Terreno póstumo a diseño.

**Fuente:** Autoras

Este terreno esta contiguo al actual botadero de basura, dispone de una vía de acceso transitable, no está muy distante del cantón y el lugar no es densamente poblado; estas condiciones, lo hacen apto para la construcción del relleno sanitario.



**Figura 3.3:** Botadero actual.  
**Fuente:** Autoras

### 3.2.3 Terreno Vía Babahoyo – Montalvo

Ubicado en el Km 25 vía a Montalvo, con una elevación de 22m sobre el nivel del mar, de suelo limo arenoso, de aproximadamente 5 hectáreas de árboles y yerbas características de la zona, en sus alrededores se encuentran sembríos de arroz, del cual en época de verano se encuentran sembríos de soya, el lugar está alejada de la población, y su vía de acceso es a través de una carretera tipo I de pavimento flexible.



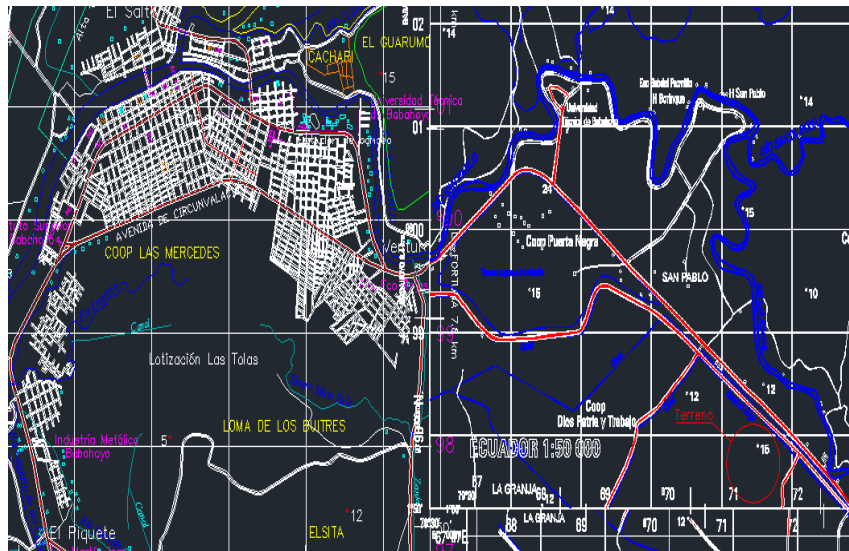


**Figura 3.4:** Terreno baldío.  
**Fuente:** Autoras

### **3.3 Trabajo de Campo**

#### **3.3.1 Topografía**

Para determinar el área disponible para la construcción del nuevo relleno de Babahoyo se lo realizó a través de coordenadas UTM, se tiene a continuación el plano topográfico de la ciudad, del cual todo el terreno es planicie.



**Figura 3.5:** Plano topográfico Babahoyo.  
**Fuente:** IGM

### 3.3.2 Geología y Geotecnia

#### Geomorfología

La ciudad de Babahoyo, está asentada sobre arcillas de estuario, es decir sobre arcillas que en su mayoría son del río Babahoyo, con una cota promedio de entre 4 y 6 metros a nivel del mar, esto lo convierte en un lugar con una planicie inundable.

## Geología

El suelo de Babahoyo tiene características de material semipermeable a permeable, esto es principalmente donde ha existido un relleno hidráulico. Debido a que algunos de los terrenos han sido rellenados de manera artesanal, estos cuentan con baja compresibilidad en estado compactado y saturado, para las avenidas y calles de la ciudad cuentan con una compactación mayor.

## Geotecnia

Para el estudio geotécnico se establecen dos horizontes de suelos, el superior es de textura fina (Limo- arcilloso) en estado seco y en estado húmedo saturado es de textura fina con niveles de (limo-arenoso fino) acorde a la clasificación SUCS el suelo de Babahoyo corresponde a un suelo de tipo MH, donde el nivel superior tiene un índice de permeabilidad de 1.

Acorde a un estudio de suelo realizado por la municipalidad de Babahoyo, se determinó la siguiente clasificación (Ver tabla VI).

**Tabla VI.** Clasificación del suelo de Babahoyo

| <b>Parámetro</b>   | <b>Clasificación</b> | <b>Descripción</b>                         |
|--|----------------------|--|
| Clasificación SUCS   | MH                   | Suelos limos inorgánicos, suelos elásticos |
| Clasificación AASHTO   | A-7-5                | Materiales limo - arcillosos               |
| Humedad natural (%)  | 39,31                | Seco                                       |
| Índice Plástico  | 24,34                | Medio                                      |
| Coefficiente de permeabilidad promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) | 1,87 E-08            | Drenaje pobre                              |
| Angulo de fricción interna o en grados                       | 30                   | Consistencia compacto                      |
| CBR  | 3-7                  | Pobre a regular                            |

**Fuente:** M.I. Municipalidad de Babahoyo, 2012

### 3.3.3 Localización de préstamos y canteras

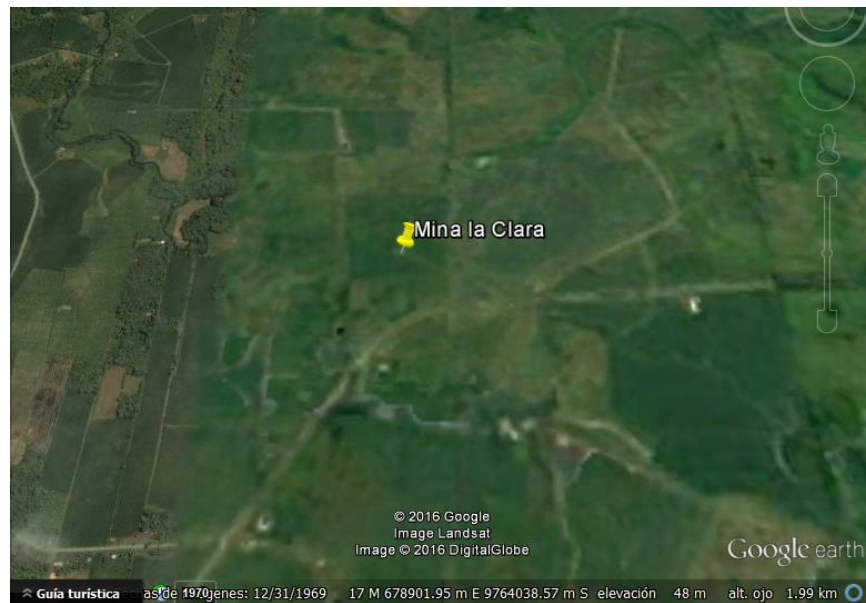
Actualmente la ciudad de Babahoyo no cuenta con lugares de préstamos y canteras debido a que es un territorio plano, por lo cual las empresas constructoras optan por comprar material pétreo de minas contiguas a sus parroquias cantonales.

La primera mina situada en la Parroquia Febres Cordero es la Mina el Placer, con coordenadas UTM en X: 690327, Y: 9776053, esta cuenta con material pétreo extraído del río Changuil.



**Figura 3.6:** Ubicación de la Mina El Placer  
**Fuente:** Google Earth

La segunda mina llamada La Clara, situada en la Parroquia la Unión, ubicada con las siguientes coordenadas UTM X: 679383, Y: 9813470, esta cuenta con material pétreo extraído del río Atio.



**Figura 3.7:** Ubicación de la Mina La Clara  
**Fuente:** Google Earth

La arena, se obtiene por medio del dragado de ríos, una fuente principal es el río Babahoyo, seguida del río San Pablo, río Clementina y el río Las juntas.



**Figura 3.8:** Dragado en el río Babahoyo en unión con el río Clementina.  
**Fuente:** Autoras

#### 3.3.4 Otros Materiales de Construcción

En la actualidad existen nuevos materiales que crean una construcción sostenible reduciendo su costo y volviéndola más durable.

Tal es el caso de los geotextiles que han servido para la estabilización de taludes, debido a que, siendo textiles permeables sintéticos, tienen a ser más resistentes a la tensión, punzonamiento, entre otros.

### 3.3.4.1 Geomembrana

Las geomembranas se definen como un revestimiento de líquidos y a la vez de vapores, son fabricadas a partir de combinaciones de polímeros termoestables o termoplásticos. [20] [12]

Este material tiene una alta impermeabilidad, debido a que su medida para transmisión de agua y vapor se encuentra en un rango de  $1 \times 10^{-12}$  a  $1 \times 10^{-15}$  m/s. A continuación, se menciona otras características de las geomembranas:

- Alta durabilidad, resistentes a la mayoría de líquidos peligrosos
- Alta resistencia química, resistente a la radiación ultravioleta (UV)

Por sus características, se clasifican en geomembranas de polietileno y de cloruro de polivinilo (PVC). [20] [12]

Las geomembranas de polietileno de alta densidad son fabricadas a partir del 93 % de resina de polietileno y mezclada con el 3% de aditivos antioxidantes y negro de humo, esto las hace resistente al ataque de ácidos, sales, alcoholes, bases, aceites e hidrocarburos. Estas vienen en rollos de 5.8 a 7 metros de ancho y de longitud desde 150 a 450 metros, con un área de 3150



m2. Y son comúnmente utilizadas para rellenos sanitarios, diques, pilas de lixiviación, lagunas de oxidación, reservorios, piscinas de lodos, entre otros.

[20] [12]

**Tabla VII.** Propiedades físicas de la Geomembrana de polietileno de alta resistencia.

| <b>Propiedad</b>                   | <b>Unidad</b> | <b>Valor</b> |
|------------------------------------|---------------|--------------|
| Contenido de Carbón(Negro húmedo)  | %             | 2.0 - 3.0    |
| Tiempo de oxidación inductiva(OIT) | Min           | >120         |
| Dispersión de carbón               | Categoría     | 1.-2         |
| Envejecimiento al horno 85°C       | %             | >80          |
| Resistencia al UV                  | %             | >80          |

**Fuente:** Geo soluciones.

En cambio, las geomembranas de PVC, están compuestas por un 50% de resina de PVC y un 50% de aditivos, generando una lámina impermeabilizante con alta resistencia, esto las vuelve flexibles, provocando que sean fabricadas en secciones de hasta 1500 m<sup>2</sup>. Estas son utilizadas también en diques, reservorios, presas, coberturas finales de rellenos sanitarios, lagunas de oxidación entre otros. (Pavco, 2014) (Geosoluciones ,2014)

**Tabla VIII:** Propiedades físicas de la Geomembrana de PVC.

| <b>Propiedad</b>        | <b>Unidad</b> | <b>Valor</b> |
|-------------------------|---------------|--------------|
| Densidad                | g/cc          | 1.2          |
| Estabilidad dimensional | %             | 4            |
| Resistencia             | kPa           | 470          |
| Impacto a temperatura   | °C            | -26          |
| Extracción por agua     | %             | 0.15         |

**Fuente:** Geo soluciones

#### 3.3.4.2 Geotextil No Tejido NT 3000

Basado en la Norma INEN – ISO 13437 los geotextiles no tejidos se forman a través de un entrelazado de filamentos de polipropileno, conformando una capa de textil con propiedades altas de filtración y drenaje. Acorde a sus características mecánicas, se considera que existe una mayor elongación desde el 40% hasta el 120% o más, esto antes de entrar a la fase de rotura.

[20] [12]

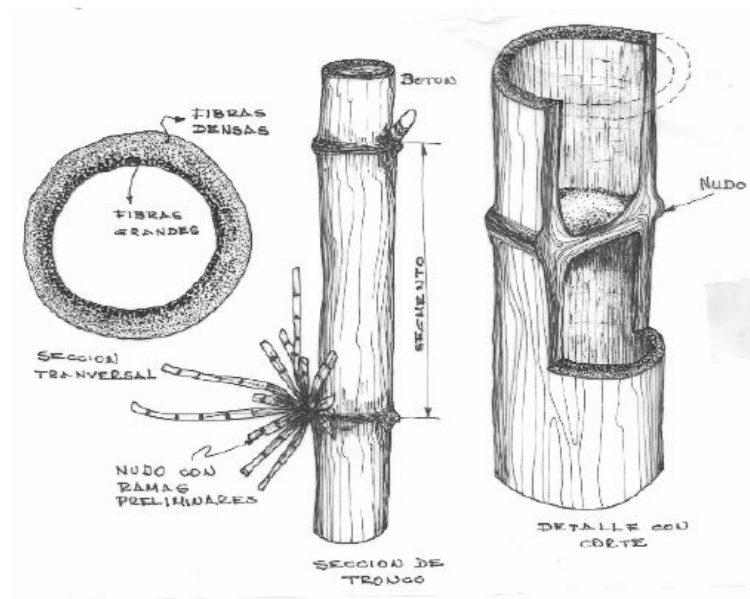
Son utilizados para separar dos capas de suelos que contienen diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, límites de atterbeg, etc.), hidráulicas y físicas. [20] [12]



**Figura 3.9:** Geotextil aplicado en un relleno sanitario  
**Fuente:** PAVCO

#### 3.3.4.3 Caña guadua

La caña de guadua o *Angustifolia Kunth*, es una caña cilíndrica, con 40 m de altura y 20 cm de diámetro interrumpido a intervalos regulares debido a los nudos en forma de anillos. Según el INEN 42 la caña guadua posee una alta resistencia hacia los insectos, moho y putrefacción, donde posee una humedad relativamente baja con un peso de  $0,82 \text{ kg/dm}^3$  y una resistencia a la tensión de  $1448 \text{ Kg/cm}^2$ , un módulo de elasticidad de  $1760000 \text{ kg/cm}^2$ , el cual aumenta al pasar los años en el tronco. [14]



**Figura 3.10:** Características de la Caña de Guadua  
**Fuente:** INEN 42

Gracias a la rigidez que posee, desde el aspecto mecánico esta puede ser comparada con el hormigón, acero o madera, del cual es utilizado comúnmente para la construcción de viviendas urbanas marginales. [14]

Así mismo la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2014), señala en el capítulo 8 de estructuras de madera, que se debe considerar el análisis de estabilidad, durabilidad y resistencia, esto también depende del tipo de suelo a donde se realizará la construcción, a la vez la norma INEN especifica las características tanto físicas, químicas, así como arquitectónicas que tiene un material de construcción, tal es el caso de la caña de guadua. [14]

### 3.4 Estudio del cauce de los ríos

El río Babahoyo en la profundidad de su cauce que es de 15 m aproximadamente, existe material de azolve proveniente de las partes más elevadas del cauce (Río Clementina y río San Pablo).

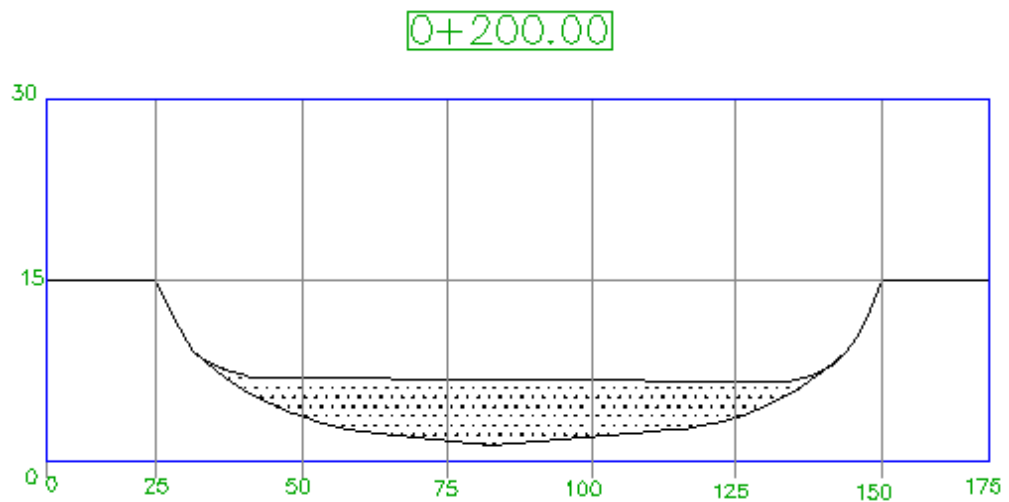
A lo ancho del cauce, aproximadamente 150 m presenta depósitos aluviales consolidados, conformados por el mismo material de azolve.



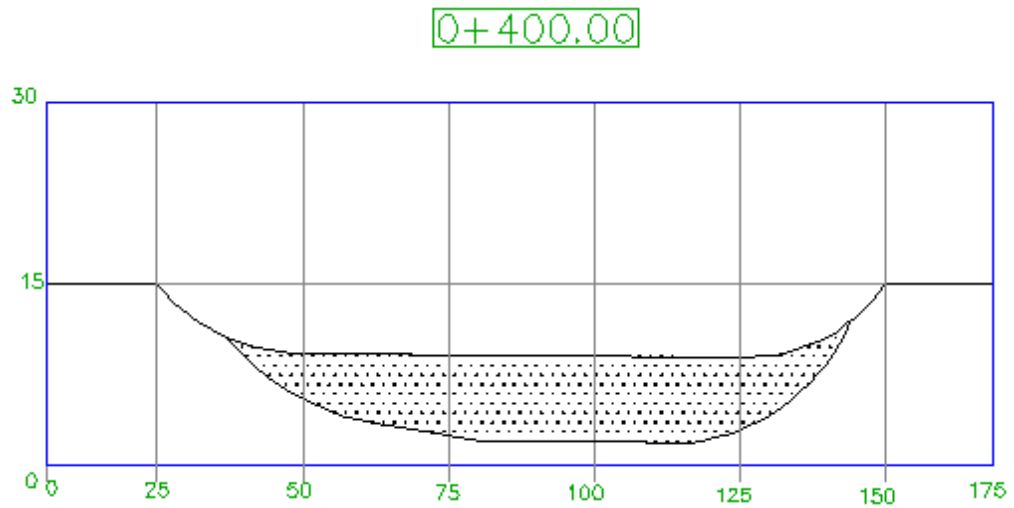
**Figura 3.11:** Río Babahoyo.  
**Fuente:** Autoras

Para el estudio del cauce del Río Babahoyo se realizaron perfiles transversales desde la cota 0+ 200 hasta la cota 4+000, y en cada corte se

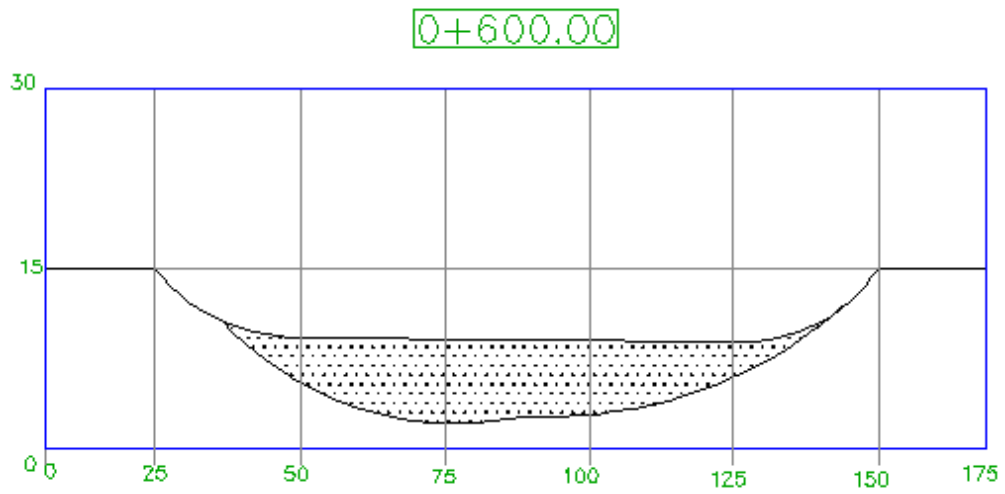
observa la cantidad de sedimentos acumulados en cada sección, el volumen de cada perfil se presentará en el capítulo 8. A continuación se presentan perfiles transversales desde la cota 0+200 hasta la cota 2+000, los perfiles restantes se encuentran el anexo 3.



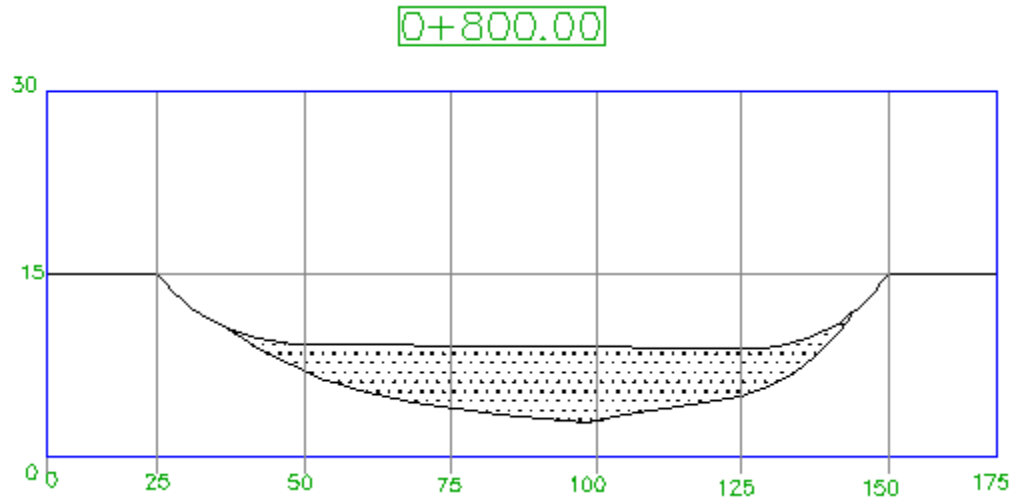
**Figura 3.12:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 0+200m.



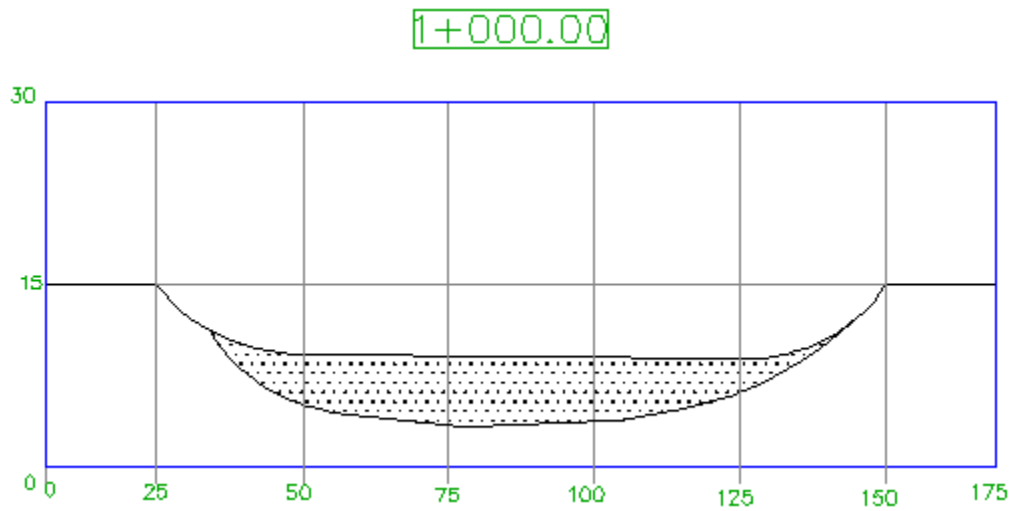
**Figura 3.13:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 0+400m.



**Figura 3.14:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 0+600m.

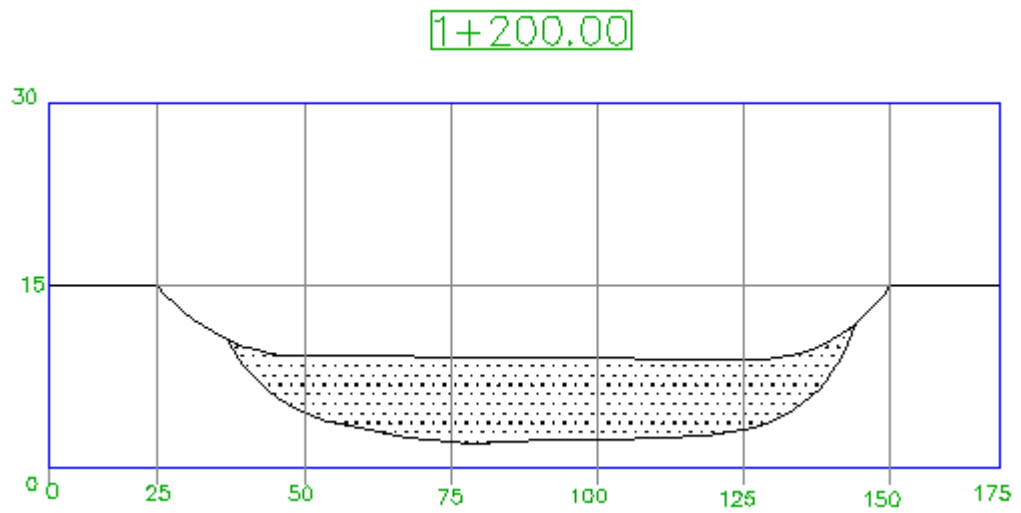


**Figura 3.15:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 0+800m.

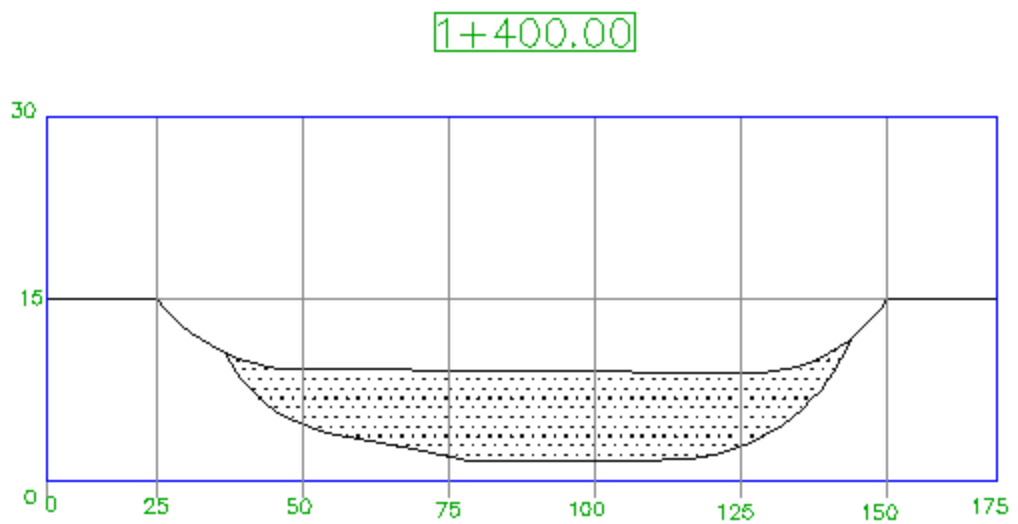


**Figura 3.16:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 1+000m.

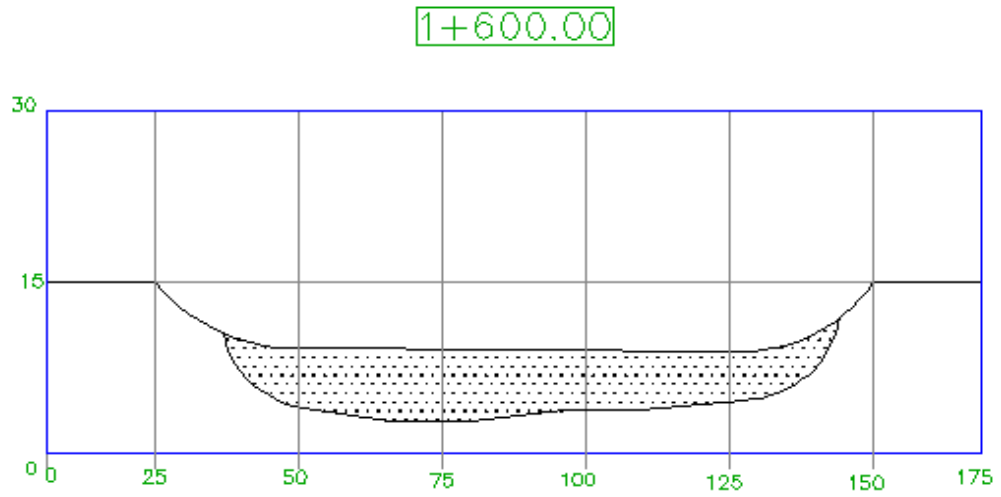




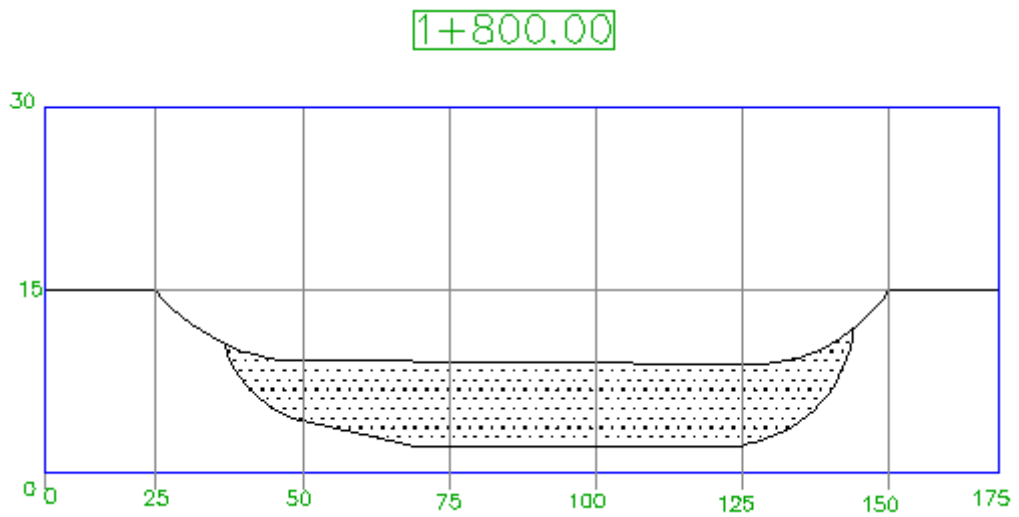
**Figura 3.17:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 1+200m.



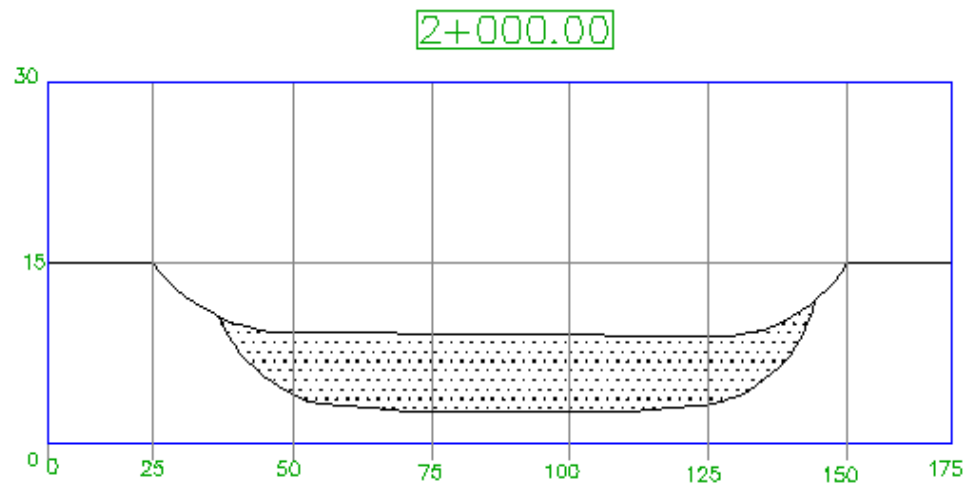
**Figura 3.18:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 1+400m.



**Figura 3.19:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 1+600m.



**Figura 3.20:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 1+800m.



**Figura 3.21:** Perfil transversal del río Babahoyo cota 2+000m.

# CAPITULO IV

## 4. ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

### 4.1 Terreno sector Botadero de basura actual de Babahoyo

Se realizaron ocho perforaciones por medio del ensayo SPT, a continuación, se presenta en la siguiente tabla las perforaciones con sus debidas profundidades.

**Tabla IX:** Perforaciones con ensayo SPT.

| Denominación | Profundidad [m] |
|--------------|-----------------|
| P1           | 30.50           |
| P2           | 30.50           |
| P3           | 30.50           |
| P4           | 30.00           |
| P5           | 30.50           |
| P6           | 30.80           |
| P7           | 30.50           |
| P8           | 30.85           |

**Fuente:** GAD de Babahoyo, 2015.

Dichas muestras fueron obtenidas de manera continua a través de un muestreador tipo cuchara partida, esto para el ensayo de penetración estándar (SPT) de 2 pulgadas de diámetro exterior (DE) y 1.375 pulgadas de

diámetro interior (DI), empleando un martillo tipo Safety (63.5 Kg, 0.76 m altura de caída y varillas AW). [11]

Las perforaciones se dan por finalizada al alcanzarse la profundidad proyectada o al obtener rechazo. Según la norma ASTM D1586, el rechazo se produce si:

- a) Se obtienen 50 golpes en cualquiera de las tres penetraciones de 15 cm de del ensayo.
- b) Se alcanzan un total 100 golpes en los últimos 30 cm de penetración de la cuchara.
- c) Se realiza 10 golpes sucesivos con el martillo y no se aprecia ningún avance.

Las muestras de cada perforación fueron obtenidas para caracterizar las condiciones del subsuelo y consecuentemente realizar los ensayos en el laboratorio.

Se realizó una clasificación visual preliminar de suelos en el campo, de acuerdo con la norma ASTM D 2487 (Sistema de Clasificación de Suelos

Unificada). La clasificación de las muestras de suelo fue verificada por una inspección posterior en el laboratorio y por los resultados de los ensayos.

Sobre las muestras obtenidas se realizaron los siguientes ensayos acorde a las siguientes normas:

- Contenido de humedad ASTM D 2216
- Granulometría ASTM D 422
- Límites de Atterberg ASTM D 4318
- Clasificación de suelos ASTM D 2487

Del cual se presenta la siguiente tabla:

Tabla X. Ensayos de suelo.

| MUEST.<br>No | HUMEDAD<br>NATURAL<br>W - % | GRANULOMETRIA<br>% PASANTE |         | LIMITES DE<br>ATTERBERG |        | CLASIF.<br>AASHTO<br>SUCS |
|--------------|-----------------------------|----------------------------|---------|-------------------------|--------|---------------------------|
|              |                             | T# 4                       | T # 200 | WL - %                  | IP - % |                           |
|              | 30,46                       | 100                        | 68,60   | 36                      | 12     | M L                       |
| 1            | 32,74                       | 100                        | 40,36   |                         |        | S M                       |
| 2            | 36,37                       | 100                        | 47,46   |                         |        | S M                       |
| 3            | 36,84                       | 100                        | 50,50   | 54                      | 30     | C H                       |
| 4            | 32,58                       | 100                        | 45,97   |                         |        | S M                       |
| 5            | 22,27                       | 100                        | 13,15   |                         |        | S M                       |
| 6            | 21,23                       | 100                        | 12,09   |                         |        | S M                       |
| 7            | 22,60                       | 100                        | 27,26   |                         |        | S M                       |
| 8            | 105,87                      | 100                        | 97,97   | 76                      | 48     | C H                       |

**Fuente:** GAD de Babahoyo.

Acorde a los resultados obtenidos en las primeras muestras el Índice plástico es mayor a 12 por lo que se considera que el suelo es plástico y a la vez acorde a la clasificación SUCS se determina que el suelo es limo arenoso de coloración café verdosa. Así como para otras muestras según su clasificación de suelos son arena fina limosa con coloración café clara.

Tal es el caso que para las muestras 4 y 8 dan arcilla arenosa según su clasificación SUCS por lo cual se puede dar como conclusión que el suelo ha sido rellenado a través de un relleno hidráulico anteriormente, del cual el suelo se ha mezclado con tal relleno. [11]

## 4.2 Ríos Babahoyo y Cristal

Se extrajeron dos muestras de arena de río que correspondía a los ríos Babahoyo y Cristal, del cual se realizaron una serie de ensayos que han permitido conocer las características geotécnicas de los materiales.

Para lo cual se realizaron ensayos de clasificación de suelos SUCS que incluyen granulometría, límites de Atterberg sobre las muestras obtenidas.

Para la ejecución de estos ensayos se siguieron las siguientes normativas:

- Contenido de humedad ASTM D 2216
- Granulometría ASTM D 422
- Límites de Atterberg ASTM D 4318
- Clasificación de suelos ASTM D 2487

### 4.2.1 Contenido de humedad

Con las muestras de arena de los ríos Babahoyo y Cristal se realizó el ensayo de contenido de humedad bajo la norma ASTM D 2216, dado el grado de importancia que tiene este ensayo para determinar el comportamiento de los suelos (volumen, cohesión, etc.). Este parámetro se determina mediante la siguiente ecuación:



$$W = \frac{W1 - W2}{W2 - Wt} \times 100 \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

W= Contenido de humedad (%)

W1= Peso del recipiente más el suelo húmedo

W2= peso del recipiente más el suelo seco

Wt= Peso del recipiente

**Tabla XI.** Contenido de humedad.

| <b>Datos</b> | <b>Río Babahoyo</b> | <b>Río Cristal</b> |
|--------------|---------------------|--------------------|
| <b>Wt</b>    | 125,77              | 140.76             |
| <b>W1</b>    | 2049,32             | 2948,21            |
| <b>W2</b>    | 1970,16             | 2599,76            |
| <b>%W</b>    | 4,29                | 14,17              |

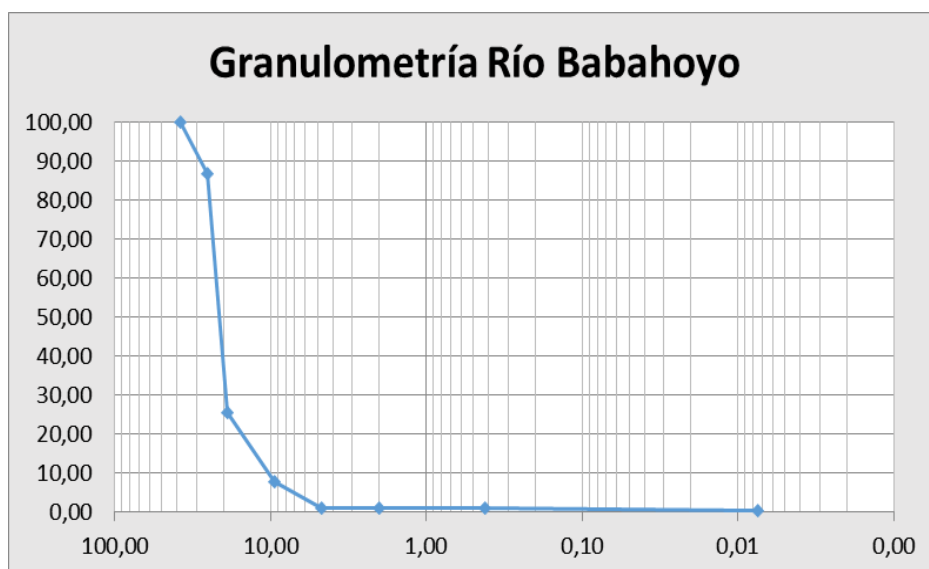
Acorde a los resultados obtenidos el contenido de humedad para el Río Babahoyo es de 4,29 % y el del Río Cristal de 14,17%.

#### 4.2.2 Granulometría

El ensayo de análisis granulométrico tiene la finalidad de clasificar por medio de tamices los tamaños de granos de un suelo, para lo cual este ensayo se rige bajo la norma ASTM D 422, para este ensayo se tomaron muestras de los ríos Babahoyo y Cristal donde se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla XII.** Resultados de la granulometría del Río Babahoyo.

| <b>Granulometría Río Babahoyo</b> |                      |                          |                   |                             |                            |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>#Tamiz</b>                     | <b>Abertura (mm)</b> | <b>Peso Parcial (gr)</b> | <b>% Retenido</b> | <b>% Retenido Acumulado</b> | <b>% Pasante Acumulado</b> |
| <b>N°16</b>                       | 1,700                | 0,00                     | 0,00              | 0,00                        | 100,00                     |
| <b>N°20</b>                       | 1,180                | 130,66                   | 13,066            | 13,066                      | 86,934                     |
| <b>N°40</b>                       | 0,600                | 612,51                   | 61,251            | 74,317                      | 25,683                     |
| <b>N°60</b>                       | 0,300                | 177,9                    | 17,79             | 92,107                      | 7,893                      |
| <b>N°100</b>                      | 0,180                | 69,05                    | 6,905             | 99,012                      | 0,988                      |
| <b>N°120</b>                      | 0,125                | 0,13                     | 0,013             | 99,025                      | 0,975                      |
| <b>N°140</b>                      | 0,106                | 0,15                     | 0,015             | 99,04                       | 0,96                       |
| <b>N°200</b>                      | 0,075                | 4,10                     | 0,41              | 99,45                       | 0,55                       |
| <b>Fondo</b>                      |                      | 5,50                     | 0,55              | 100                         | 0                          |
| <b>Total</b>                      |                      | 1000                     | 100               |                             |                            |

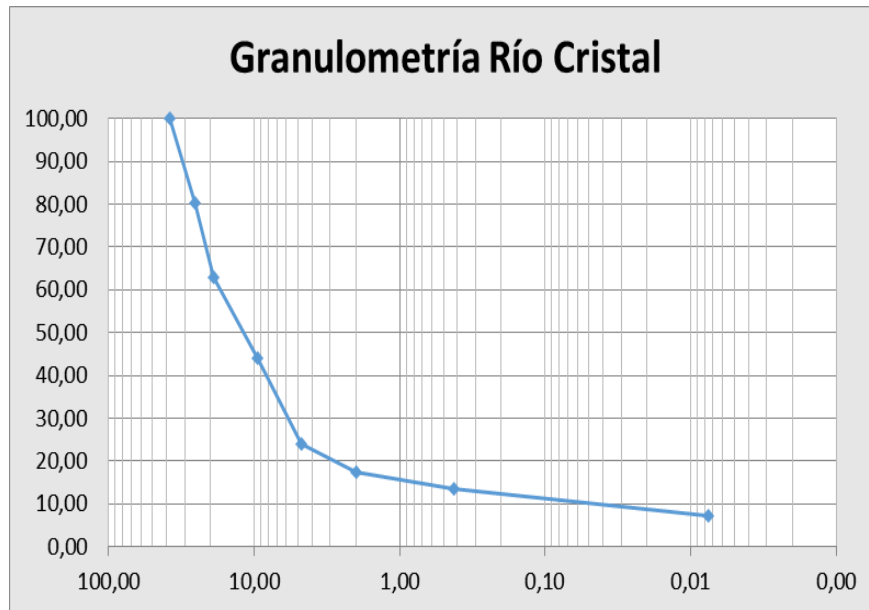


**Figura 4.1:** Granulometría del Río Babahoyo.

Acorde a la curva granulométrica se tiene un coeficiente de uniformidad de suelo ( $C_u$ ) mayor a 6.

**Tabla XIII.** Resultados de la granulometría del Río Cristal.

| <b>Granulometría Río Cristal</b> |                      |                          |                   |                             |                            |
|----------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>#Tamiz</b>                    | <b>Abertura (mm)</b> | <b>Peso Parcial (gr)</b> | <b>% Retenido</b> | <b>% Retenido Acumulado</b> | <b>% Pasante Acumulado</b> |
| <b>N°16</b>                      | 1,700                | 0,00                     | 0,00              | 0,00                        | 100,00                     |
| <b>N°20</b>                      | 1,180                | 195,7                    | 19,57             | 19,57                       | 80,43                      |
| <b>N°40</b>                      | 0,600                | 175,04                   | 17,504            | 37,074                      | 62,926                     |
| <b>N°60</b>                      | 0,300                | 188,5                    | 18,85             | 55,924                      | 44,076                     |
| <b>N°100</b>                     | 0,180                | 200                      | 20                | 75,924                      | 24,076                     |
| <b>N°120</b>                     | 0,125                | 67,31                    | 6,731             | 82,655                      | 17,345                     |
| <b>N°140</b>                     | 0,106                | 39,15                    | 3,915             | 86,57                       | 13,43                      |
| <b>N°200</b>                     | 0,075                | 61,20                    | 6,12              | 92,69                       | 7,31                       |
| <b>Fondo</b>                     |                      | 73,10                    | 7,31              | 100                         | 0                          |
| <b>Total</b>                     |                      | 1000                     | 100               |                             |                            |



**Figura 4.2:** Granulometría del Río Cristal.

Acorde a la curva granulométrica se tiene un coeficiente de uniformidad de suelo ( $C_u$ ) mayor a 6.

#### 4.2.3 Límites de Atterbeg

El ensayo límites de atterbeg acorde a la normativa ASTM D 4318 tiene la finalidad de determinar la consistencia de un material, así como las características de desgaste (compactación, etc.), para lo cual con las muestras del pasante del tamiz N°40 se realizó este ensayo para los dos ríos (Babahoyo y Montalvo), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla XIV.** Límite líquido del Río Babahoyo.

| <b>LIMITE LÍQUIDO RIO BABAHOYO</b> |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>N° ENSAYO</b>                   | 1     | 2     | 3     |
| <b>N° Recipiente</b>               | 90    | 62    | 5     |
| <b>Wh+r(gr)</b>                    | 32,72 | 22,52 | 31,25 |
| <b>Ws+r (gr)</b>                   | 25,98 | 19    | 27,35 |
| <b>r(recipiente gr.)</b>           | 6,04  | 6,45  | 6,11  |
| <b>Ww=(2)-(4) (gr)</b>             | 26,68 | 16,07 | 25,14 |
| <b>Ws=(3)-(4) (gr.)</b>            | 19,94 | 12,55 | 21,24 |
| <b>w%= ((5)/(6))x100</b>           | 74,74 | 78,09 | 84,48 |
| <b>No. Golpes</b>                  | 18    | 22    | 21    |
| <b>Log (No. Golpes)=log(8)</b>     | 1,25  | 1,34  | 1,32  |

Debido a que el suelo analizado es arena fina, es difícil el tener una línea de escurrimiento por lo cual se calcula el límite líquido con la siguiente formula:

$$WL = W \left( \frac{N}{25} \right)^{0,121} \quad \text{Ec.2}$$

Dónde:

N= Número de golpes

W= contenido de humedad

$$W_{L1} = 71,81\%$$

$$W_{L2} = 76,89\%$$

$$W_{L3} = 82,71\%$$

Dando como resultado final para la muestra obtenida en el río Babahoyo

$$WL = 77,13\%.$$

Para el río Cristal se tuvieron los siguientes resultados:

**Tabla XV.** Límite líquido del Río Cristal.

| <b>LIMITE LÍQUIDO RIO Cristal</b> |       |       |       |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>N° ENSAYO</b>                  | 1     | 2     | 3     |
| <b>N° Recipiente</b>              | 22    | 60    | 80    |
| <b>Wh+r(gr)</b>                   | 26,39 | 31,55 | 27,2  |
| <b>Ws+r (gr)</b>                  | 21,87 | 26,1  | 22,76 |
| <b>r(recipiente gr.)</b>          | 5,96  | 6,32  | 6,08  |
| <b>Ww=(2)-(4) (gr)</b>            | 20,43 | 25,23 | 21,12 |
| <b>Ws=(3)-(4) (gr.)</b>           | 15,91 | 19,78 | 16,68 |
| <b>w%= ((5)/(6))x100</b>          | 77,88 | 78,39 | 78,98 |
| <b>No. Golpes</b>                 | 17    | 19    | 20    |
| <b>Log (No. Golpes)=log(8)</b>    | 1,23  | 1,28  | 1,30  |

Debido a que el suelo analizado es arena fina, es difícil el tener una línea de escurrimiento por lo cual se calcula el límite líquido con la ecuación 2.

$$W_{L1} = 74,31\%$$

$$W_{L2} = 75,82\%$$

$$W_{L3} = 76,86\%$$

Dando como resultado final para la muestra obtenida en el río Cristal  $W_L = 75,66\%$ .

Debido a que la arena es un material no plástico no se puede realizar el ensayo de plasticidad en consecuencia no existe un índice de plasticidad.

#### 4.2.4 Clasificación de suelos

El sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) acorde a la norma ASTM D 2487 indica que por medio del índice plástico se puede clasificar los suelos (GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC) pero debido a que la arena por ser un material fino y no granular no se compactó bien, por lo cual el porcentaje de finos es menor al 5% por lo que el  $C_c$  fue el que no se pudo determinar, para las dos muestras (río Babahoyo y río Cristal).

# **CAPITULO V**

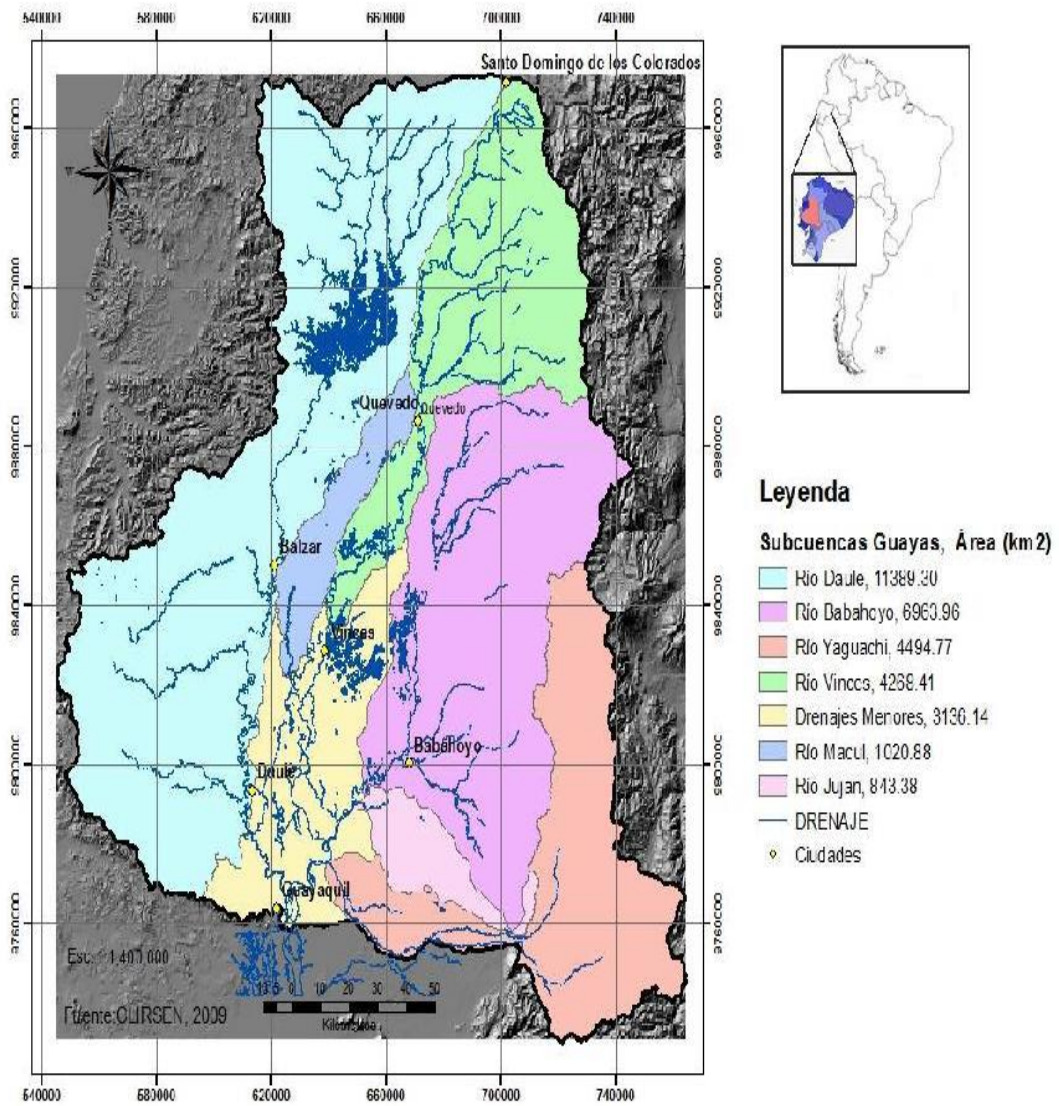
## **5. TRABAJO DE GABINETE**

### **5.1 Estudio hidrológico de los cauces**

#### 5.1.1 Subcuenca del río Babahoyo

La subcuenca del río Babahoyo constituye aproximadamente un cuarto de la superficie de la cuenca del Guayas; está situada en el sector central-este de dicha cuenca hidrográfica y la integran el río Clementina que nace en el extremo Nor-Este de la subcuenca y tiene una dirección de desarrollo francamente de Norte-Sur, y el río San Pablo de Las Juntas, que nace en el sur-este y tiene un pronunciado desarrollado Este-Oeste hasta que se une con el río Clementina para juntos formar el río Babahoyo.





**Figura 5.1:** Subcuenclas Hidrográficas de la Cuenca del Guayas.  
**Fuente:** INAMHI

### 5.1.1.1 Características de la Subcuenca

Mediante la utilización de cartas topográficas digitales y el programa AutoCAD se han determinado las características de la subcuenca del río Babahoyo.

|                    |                         |
|--------------------|-------------------------|
| Área               | 6963.96 Km <sup>2</sup> |
| Perímetro          | 416.670 Km              |
| Longitud del cauce | 138.333 Km              |
| Ancho              | 62.222 Km               |
| Desnivel           | 2165.00 m               |

### 5.1.1.2 Parámetros de forma

#### **Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Kc)**

Describe la geometría de la cuenca y se define como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca. El índice de Gravelius no podrá ser menor a la unidad y, en la medida que éste se aproxime a ese valor la forma de cuenca tenderá a ser circular.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Ec.3

Donde P es el perímetro (Km) y A es el área de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

$$Kc = \frac{416.670}{2\sqrt{\pi * 6963.96}}$$

$$Kc = 1.41$$

El índice de compacidad obtenido corrobora que la forma de la cuenca no es circular, sino irregular.

### **Coefficiente de forma (Kf)**

Este parámetro denota la forma alargada o redondeada de la cuenca, se define como la relación entre el ancho medio de la cuenca (B) y la longitud de su cauce principal (Lc).

El coeficiente de forma indica la tendencia hacia las crecidas, mientras mayor sea este valor se tiene crecidas rápidas e intensas; caso contrario si este valor es pequeño las crecidas son lentas y continuas.

$$Kf = \frac{B}{Lc} = \frac{A}{Lc^2} \quad \text{Ec.4}$$

$$Kf = \frac{6963.96}{138.333^2}$$

$$Kf = 0.364$$

El valor del coeficiente es cercano a 0.5 lo cual indica que la cuenca puede experimentar crecidas.

#### 5.1.1.3 Parámetros de relieve

##### **Pendiente media del cauce (j)**

A mayor relieve o pendiente la generación de escorrentías se produce en lapsos menores de tiempo. La pendiente media del cauce es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud.

$$j = \frac{DA}{Lc} \quad \text{Ec.5}$$

$$j = \frac{2.165}{138.333}$$

$$j = 0.016 = 1,6\%$$

#### 5.1.1.4 Parámetros de la red de drenaje

##### **Número de orden de la cuenca**

Este parámetro está relacionado con el número de ramificaciones del sistema de drenaje. En el anexo 4 se muestra el mapa de la división hidrográfica de la cuenca del Guayas; donde se observa las Subcuencas que lo conforman. De

este mapa se analizó la subcuenca de drenaje de Babahoyo, y se pudo establecer que el orden de la cuenca es del 4 orden.

#### 5.1.2 Análisis Hidrológico de la cuenca

Para establecer parámetros hídricos que permitan conocer la dimensión de los recursos existentes y estimar un futuro evento extremo, es importante realizar un análisis hidrológico.

Para este proyecto se analizó los datos proporcionados por el instituto nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). De los datos de la estación agro-meteorológica ubicada en la universidad técnica de Babahoyo se obtuvo la información que se muestra a continuación:

#### **Temperatura**

De la información de la estación meteorológica localizada en la universidad técnica de Babahoyo se conoce que la temperatura promedio anual máxima en el cantón es de 29,7 °C y la temperatura promedio anual mínima es de 22,5 °C. Marzo es el mes más caliente y agosto el más frío.

### **Evaporación**

De los datos obtenidos, se deduce que la evaporación media anual es de 106 mm.

### **Humedad Relativa**

La humedad relativa promedio del sector en estudio es de 80%.

### **Precipitación**

Se cuenta con los datos de la estación agro-meteorológica en un periodo de 12 años; los registros son desde el año 2000 hasta el 2012. Estos datos serán procesados para obtener una aproximación de la intensidad de lluvias y con ello estimar el caudal que se genera en la subcuenca. A continuación, se muestra la tabla de precipitaciones.

**Tabla XVI.** Datos mensuales de precipitación.

| Precipitación (mm) |              |              |              |              |              |            |              |            |          |            |             |              |              |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|------------|----------|------------|-------------|--------------|--------------|
| Año                | Ene          | Feb          | Mar          | Abr          | May          | Jun        | Jul          | Agos       | Sept     | Oct        | Nov         | Dic          | Máx.         |
| 2000               | 222,9        | 415,7        | 732,5        | 208,5        | 207          | 104        | 0,4          | 0,5        | 8        | nr         | 0           | 54,2         | 732,5        |
| 2001               | 562,6        | 608          | 664,2        | 430,5        | 24,5         | 0,3        | 1,9          | 0,6        | 0,5      | 1,3        | 1,5         | 6,8          | 664,2        |
| 2002               | 77,1         | 540,8        | 565,2        | 551,6        | 101          | 5,2        | 0,2          | 0,3        | 0,4      | 139        | 5,9         | 63,8         | 565,2        |
| 2003               | 177,8        | 491          | 347,7        | 397          | 38,4         | 9,1        | nr           | 1,5        | 0,4      | 6          | 32,5        | 210          | 491          |
| 2004               | 105,4        | 580,7        | 418,6        | 333          | 77,6         | 11,9       | 0,9          | 0          | 4,8      | 6,3        | 0,6         | 1,6          | 580,7        |
| 2005               | 36,4         | 109,2        | 295,5        | 328,5        | 1,9          | 0,3        | 1,6          | 0,1        | 0,1      | 0,8        | 0,4         | 160,6        | 328,5        |
| 2006               | 278,3        | 618,5        | 371,8        | 77           | 20,5         | 4,1        | 1            | 1,6        | 1,6      | 0,7        | 13,7        | 45,3         | 618,5        |
| 2007               | 279,4        | 243,9        | 415,2        | 349,6        | 53,6         | 17,8       | 1,3          | 0,7        | 0,2      | 3,3        | 2           | 47,9         | 415,2        |
| 2008               | 525          | 656,8        | 836,5        | 635,4        | 112,3        | 3          | 1,2          | 4,6        | 3,4      | 3,1        | 6,9         | 3,2          | 836,5        |
| 2009               | 526,7        | 479,7        | 341          | 69           | 54,5         | 17,5       | 0,1          | 0          | 0,2      | 3,1        | 0,2         | 102,2        | 526,7        |
| 2010               | 207,3        | 632,6        | 289,7        | 382          | 142,1        | 4,9        | 7,3          | 0,8        | 2,6      | 0          | 6,4         | 372,3        | 632,6        |
| 2011               | 289,4        | 386,6        | 154,3        | 524,4        | 1,9          | 31         | 104,4        | 0,4        | 3,6      | 0,3        | 8,6         | 57,4         | 524,4        |
| 2012               | 516,1        | 106,3        | 103,9        | 380,6        | 325,9        | 4,6        | 0            | nr         | nr       | nr         | nr          | nr           | 516,1        |
| <b>Máx.</b>        | <b>562,6</b> | <b>656,8</b> | <b>836,5</b> | <b>635,4</b> | <b>325,9</b> | <b>104</b> | <b>104,4</b> | <b>4,6</b> | <b>8</b> | <b>139</b> | <b>32,5</b> | <b>372,3</b> | <b>836,5</b> |

Para determinar la precipitación máxima diaria, se realizará análisis estocásticos por medio del método de Gumbel. A continuación, se presenta una tabla con la distribución de probabilidades pluviométricas en función del periodo de retorno (T).

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

| Nº           | Año  | Mes<br>Max.<br>Precip. | Precipitación (mm) |                     |
|--------------|------|------------------------|--------------------|---------------------|
|              |      |                        | $x_i$              | $(x_i - \bar{x})^2$ |
| 1            | 2000 | 0                      | 732,50             | 25856,64            |
| 2            | 2001 | 0                      | 664,20             | 8556,25             |
| 3            | 2002 | 0                      | 565,20             | 42,25               |
| 4            | 2003 | 0                      | 491,00             | 6512,49             |
| 5            | 2004 | 0                      | 580,70             | 81,00               |
| 6            | 2005 | 0                      | 328,50             | 59146,24            |
| 7            | 2006 | 0                      | 618,50             | 2190,24             |
| 8            | 2007 | 0                      | 415,20             | 24492,25            |
| 9            | 2008 | 0                      | 836,50             | 70119,04            |
| 10           | 2009 | 0                      | 526,70             | 2025,00             |
| 11           | 2010 | 0                      | 632,60             | 3708,81             |
| 12           | 2011 | 0                      | 524,40             | 2237,29             |
| 13           | 2012 | 0                      | 516,10             | 3091,36             |
| <b>Total</b> |      |                        | <b>7432,1</b>      | <b>208058,9</b>     |

### Calculo de variables probabilísticas

#### Media

$$X = \frac{\sum x_i}{n} = 571,70 \text{ mm}$$

#### Desviación Estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n-1}} = 131,17 \text{ mm}$$

#### Parámetro de forma

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 102,67 \text{ mm}$$



### Moda

$$u = X - 0.5772 * \alpha = 512.44 \text{ mm}$$

**Tabla XVIII.** Máximas precipitaciones probables.

| Período Retorno | Variable Reducida | Precip. (mm) | Prob. de ocurrencia | Corrección intervalo fijo |
|-----------------|-------------------|--------------|---------------------|---------------------------|
| Años            | YT                | XT'(mm)      | F(xT)               | XT (mm)                   |
| 2               | 0,37              | 550,07       | 0,50                | 621,58                    |
| 5               | 1,50              | 666,43       | 0,80                | 753,07                    |
| 10              | 2,25              | 743,48       | 0,90                | 840,13                    |
| 20              | 2,97              | 817,38       | 0,95                | 923,64                    |
| 50              | 3,90              | 913,04       | 0,98                | 1031,73                   |
| 100             | 4,60              | 984,72       | 0,99                | 1112,74                   |

De los cálculos efectuados se observa que para un periodo de retorno de asumido de 20 años, el presente estudio contara con una precipitación de 923.64 mm.

Para este estudio, también se debe conocer las precipitaciones máximas horarias, para ello es necesario redistribuir la lluvia para un periodo de 24 horas. Se empleó coeficientes de redistribución (Campos, 1978), estos se pueden observar en la tabla XIX.

**Tabla XIX.** Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.

| 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 |

**Fuente: (Campos, 1978)**

Con estos coeficientes, se obtuvo la distribución horaria mostrada en la siguiente tabla.

**Tabla XX.** Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.

| Tiempo de Duración | Cociente | Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración |        |         |         |         |          |
|--------------------|----------|--|--------|---------|---------|---------|----------|
|                    |          | 2 años   | 5 años | 10 años | 20 años | 50 años | 100 años |
| 24 hr              | X24      | 621,58   | 753,07 | 840,13  | 923,64  | 1031,73 | 1112,74  |
| 18 hr              | X18=91%  | 565,64   | 685,29 | 764,52  | 738,91  | 938,88  | 1012,59  |
| 12 hr              | X12=80%  | 497,26   | 602,46 | 672,10  | 738,91  | 825,39  | 890,19   |
| 8 hr               | X8 = 68% | 422,67   | 512,09 | 571,29  | 628,07  | 701,58  | 756,66   |
| 6 hr               | X6 = 61% | 379,16   | 459,37 | 512,48  | 563,42  | 629,36  | 678,77   |
| 5 hr               | X5 = 57% | 354,30   | 429,25 | 478,87  | 526,47  | 588,09  | 634,26   |
| 4 hr               | X4 = 52% | 323,22   | 391,60 | 436,87  | 480,29  | 536,50  | 578,62   |
| 3 hr               | X3 = 46% | 285,93   | 346,41 | 386,46  | 424,87  | 474,60  | 511,86   |
| 2 hr               | X2 = 39% | 242,42   | 293,70 | 327,65  | 360,22  | 402,38  | 433,97   |
| 1 hr               | X1 = 30% | 186,47   | 225,92 | 252,04  | 277,09  | 309,52  | 333,82   |

Los datos de la tabla XX muestran que con un periodo de retorno de 20 años y un tiempo de 24 horas, se tiene una precipitación máxima de 923,64 mm.

Con el comportamiento de las precipitaciones registradas en la estación agro-meteorológica, se procede a generar la tabla de intensidades (ver tabla XXI) bajo las mismas características de tiempo y frecuencia de precipitación.

La fórmula de intensidad de lluvia es:

$$I = \frac{P \text{ (mm)}}{t_{\text{duración}} \text{ (hr)}} \quad \text{Ec.6}$$

**Tabla XXI.** Intensidades de lluvia, según duración y frecuencia de precipitación.

| Tiempo de duración |      | Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno |        |         |               |         |          |
|--------------------|------|--|--------|---------|---------------|---------|----------|
| Hr                 | min  | 2 años   | 5 años | 10 años | 20 años       | 50 años | 100 años |
| 24 hr              | 1440 | 25,90  | 31,38  | 35,01   | 38,48         | 42,99   | 46,36    |
| 18 hr              | 1080 | 31,42  | 38,07  | 42,47   | 41,05         | 52,16   | 56,25    |
| 12 hr              | 720  | 41,44  | 50,20  | 56,01   | 61,58         | 68,78   | 74,18    |
| 8 hr               | 480  | 52,83  | 64,01  | 71,41   | 78,51         | 87,70   | 94,58    |
| 6 hr               | 360  | 63,19  | 76,56  | 85,41   | 93,90         | 104,89  | 113,13   |
| 5 hr               | 300  | 70,86  | 85,85  | 95,77   | 105,29        | 117,62  | 126,85   |
| 4 hr               | 240  | 80,81  | 97,90  | 109,22  | 120,07        | 134,13  | 144,66   |
| 3 hr               | 180  | 95,31  | 115,47 | 128,82  | 141,62        | 158,20  | 170,62   |
| 2 hr               | 120  | 121,21   | 146,85 | 163,83  | 180,11        | 201,19  | 216,98   |
| 1 hr               | 60   | 186,47   | 225,92 | 252,04  | <b>277,09</b> | 309,52  | 333,82   |

Los datos de esta tabla muestran que la intensidad para un periodo de 20 años y un tiempo de 60 minutos es de 277.09 mm/Hr.

El comportamiento de las precipitaciones registradas no está representado por la intensidad calculada en la tabla XXI, por ello se crearán las curvas intensidad-Duración-Frecuencia (I.D.F) para tener patrones de intensidad más confiables.

En este estudio se empleará la propuesta de Aparicio (1997) para obtener las curvas I.D.F., se debe obtener una ecuación que genere las curvas mediante un modelo de regresión lineal, para extrapolar la ecuación a zonas donde no hay registros pluviográficos.

Ecuación de Aparicio:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

I= Intensidad (mm/Hr)

t= Duración de la lluvia (min)

T= Periodo de retorno (años)

K, m, n = Parámetros de ajuste

Para llegar a la forma de un modelo de regresión lineal múltiple se aplica logaritmos a la fórmula propuesta.

$$\log I = \log K + m * \log T - n * \log t$$

$$y = a_0 + a_1 * X_1 + a_2 * X_2$$

Donde:

$$y = \log I \quad a_0 = \log K$$

$$X_1 = \log T \quad a_1 = m$$

$$X_2 = \log t \quad a_2 = n$$

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

$$d = K * T^m \quad \text{Ec.8}$$

$$I = \frac{d}{t^n}$$

Donde:

$$I = d * t^{-n} \quad \text{Ec.9}$$

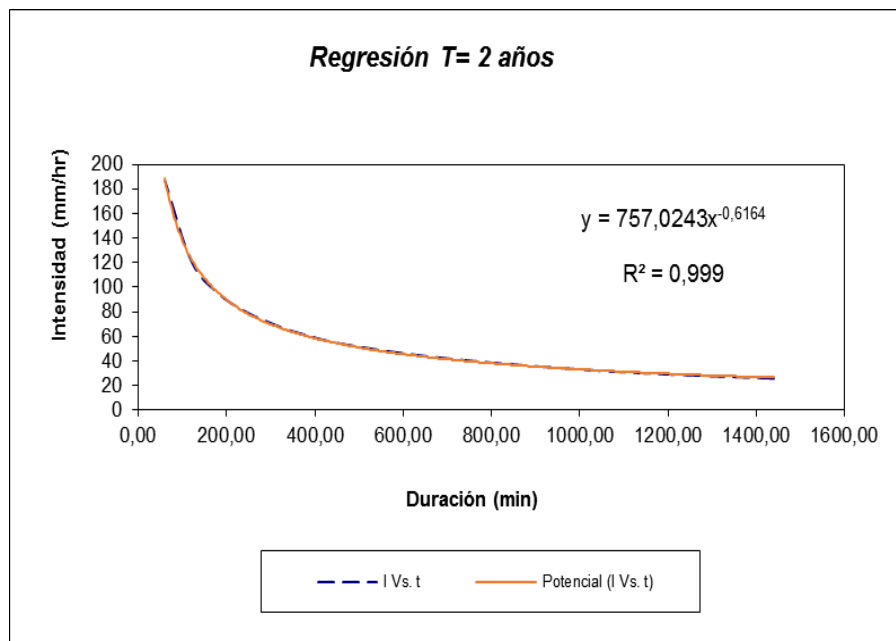
Con los datos de la tabla de intensidad, se realizará la regresión lineal de cada periodo de retorno; para la regresión se utilizará el método de mínimos cuadrados.

$$\ln d = \frac{\sum \ln t * \sum (\ln t * \ln I) - \sum \ln I * \sum \ln t^2}{\sum \ln t^2 - n * \sum \ln t^2}$$

Siendo n el número de períodos de retorno

**Tabla XXII.** Regresiones I-D-T (T=2 años).

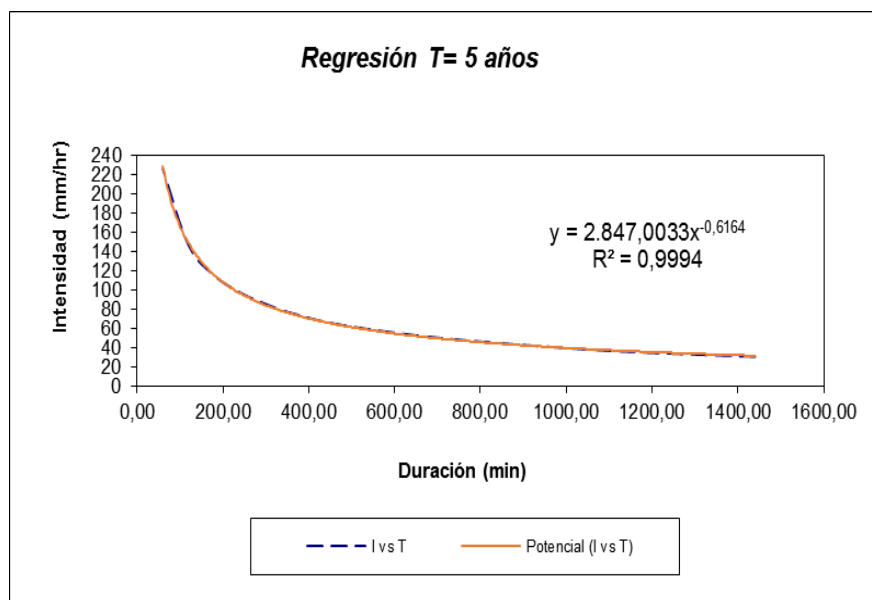
| <i>Período de retorno para T = 2 años</i> |         |            |        |            |           |         |
|---|---------|------------|--------|------------|-----------|---------|
| Nº  | x=t     | y=l        | ln x   | ln y       | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1   | 1440,00 | 25,90      | 7,27   | 3,25       | 23,67     | 52,89   |
| 2   | 1080,00 | 31,42      | 6,98   | 3,45       | 24,08     | 48,79   |
| 3   | 720,00  | 41,44      | 6,58   | 3,72       | 24,50     | 43,29   |
| 4   | 480,00  | 52,83      | 6,17   | 3,97       | 24,49     | 38,12   |
| 5   | 360,00  | 63,19      | 5,89   | 4,15       | 24,41     | 34,65   |
| 6   | 300,00  | 70,86      | 5,70   | 4,26       | 24,30     | 32,53   |
| 7   | 240,00  | 80,81      | 5,48   | 4,39       | 24,07     | 30,04   |
| 8   | 180,00  | 95,31      | 5,19   | 4,56       | 23,66     | 26,97   |
| 9   | 120,00  | 121,21     | 4,79   | 4,80       | 22,97     | 22,92   |
| 10  | 60,00   | 186,47     | 4,09   | 5,23       | 21,41     | 16,76   |
| 10,00                                     | 4980,00 | 769,45     | 58,16  | 41,78      | 237,56    | 346,94  |
| <i>Ln (d) =</i>                           | 7,7621  | <i>d =</i> | 2349,9 | <i>n =</i> | -0,6164   |         |



**Figura 5.2:** Regresión T= 2 años.

**Tabla XIII.** Regresiones I-D-T (T=5 años)

| <i>Período de retorno para T = 5 años</i> |         |        |        |       |           |                    |
|---|---------|--------|--------|-------|-----------|--------------------|
| Nº  | x       | y      | ln x   | ln y  | ln x*ln y | (lnx) <sup>2</sup> |
| 1   | 1440,00 | 31,38  | 7,27   | 3,45  | 25,06     | 52,89              |
| 2   | 1080,00 | 38,07  | 6,98   | 3,64  | 25,42     | 48,79              |
| 3   | 720,00  | 50,20  | 6,58   | 3,92  | 25,77     | 43,29              |
| 4   | 480,00  | 64,01  | 6,17   | 4,16  | 25,68     | 38,12              |
| 5   | 360,00  | 76,56  | 5,89   | 4,34  | 25,53     | 34,65              |
| 6   | 300,00  | 85,85  | 5,70   | 4,45  | 25,40     | 32,53              |
| 7   | 240,00  | 97,90  | 5,48   | 4,58  | 25,12     | 30,04              |
| 8   | 180,00  | 115,47 | 5,19   | 4,75  | 24,66     | 26,97              |
| 9   | 120,00  | 146,85 | 4,79   | 4,99  | 23,89     | 22,92              |
| 10  | 60,00   | 225,92 | 4,09   | 5,42  | 22,19     | 16,76              |
| 10,00                                     | 4980,00 | 932,22 | 58,16  | 43,69 | 248,72    | 346,94             |
| Ln (d)<br>=                               | 7,9540  | d =    | 2847,0 | n =   | -0,6164   |                    |



**Figura 5.3:** Regresión T= 5 años.

Tabla XXIV. Regresiones I-D-T (T=10 años)

| <i>Periodo de retorno para T = 10 años</i> |         |         |        |       |           |         |
|--|---------|---------|--------|-------|-----------|---------|
| Nº   | x       | y       | ln x   | ln y  | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1  | 1440,00 | 35,01   | 7,27   | 3,56  | 25,86     | 52,89   |
| 2  | 1080,00 | 42,47   | 6,98   | 3,75  | 26,18     | 48,79   |
| 3  | 720,00  | 56,01   | 6,58   | 4,03  | 26,48     | 43,29   |
| 4  | 480,00  | 71,41   | 6,17   | 4,27  | 26,35     | 38,12   |
| 5  | 360,00  | 85,41   | 5,89   | 4,45  | 26,18     | 34,65   |
| 6  | 300,00  | 95,77   | 5,70   | 4,56  | 26,02     | 32,53   |
| 7  | 240,00  | 109,22  | 5,48   | 4,69  | 25,72     | 30,04   |
| 8  | 180,00  | 128,82  | 5,19   | 4,86  | 25,23     | 26,97   |
| 9  | 120,00  | 163,83  | 4,79   | 5,10  | 24,41     | 22,92   |
| 10   | 60,00   | 252,04  | 4,09   | 5,53  | 22,64     | 16,76   |
| 10,00                                      | 4980,00 | 1039,99 | 58,16  | 44,79 | 255,08    | 346,94  |
| Ln (d) =                                   | 8,0634  | d =     | 3176,1 | n =   | -0,6164   |         |

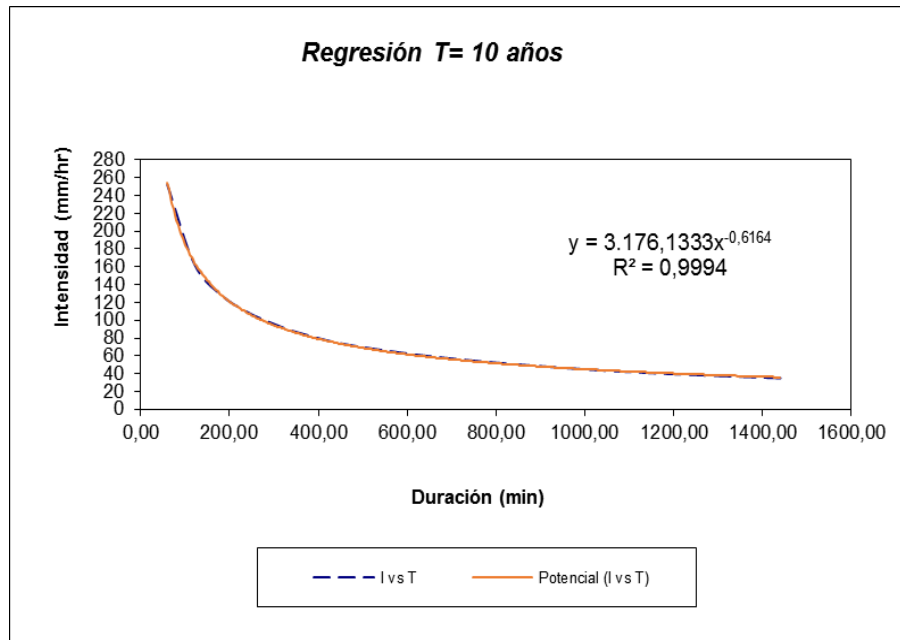
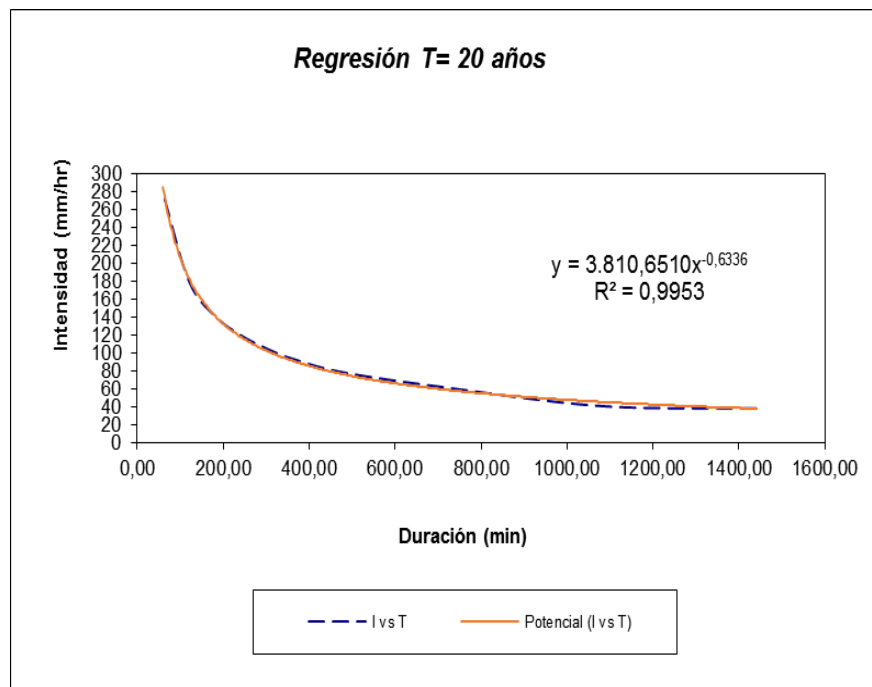


Figura 5.4: Regresión T= 10 años.



**Tabla XXV.** Regresiones I-D-T (T=20 años)

| <i>Periodo de retorno para T = 20 años</i> |         |            |        |            |           |         |
|--|---------|------------|--------|------------|-----------|---------|
| Nº   | x       | y          | ln x   | ln y       | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1  | 1440,00 | 38,48      | 7,27   | 3,65       | 26,55     | 52,89   |
| 2  | 1080,00 | 41,05      | 6,98   | 3,71       | 25,95     | 48,79   |
| 3  | 720,00  | 61,58      | 6,58   | 4,12       | 27,11     | 43,29   |
| 4  | 480,00  | 78,51      | 6,17   | 4,36       | 26,94     | 38,12   |
| 5  | 360,00  | 93,90      | 5,89   | 4,54       | 26,74     | 34,65   |
| 6  | 300,00  | 105,29     | 5,70   | 4,66       | 26,56     | 32,53   |
| 7  | 240,00  | 120,07     | 5,48   | 4,79       | 26,24     | 30,04   |
| 8  | 180,00  | 141,62     | 5,19   | 4,95       | 25,72     | 26,97   |
| 9  | 120,00  | 180,11     | 4,79   | 5,19       | 24,86     | 22,92   |
| 10   | 60,00   | 277,09     | 4,09   | 5,62       | 23,03     | 16,76   |
| 10,00                                      | 4980,00 | 1137,72    | 58,16  | 45,61      | 259,69    | 346,94  |
| <i>Ln (d) =</i>                            | 8,2456  | <i>d =</i> | 3810,7 | <i>n =</i> | -0,6336   |         |



**Figura 5.5:** Regresión T= 20 años.

Tabla XXVI. Regresiones I-D-T (T=50 años)

| <i>Período de retorno para T = 50 años</i> |         |         |        |       |           |         |
|--|---------|---------|--------|-------|-----------|---------|
| Nº   | x       | y       | ln x   | ln y  | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1  | 1440,00 | 42,99   | 7,27   | 3,76  | 27,35     | 52,89   |
| 2  | 1080,00 | 52,16   | 6,98   | 3,95  | 27,62     | 48,79   |
| 3  | 720,00  | 68,78   | 6,58   | 4,23  | 27,84     | 43,29   |
| 4  | 480,00  | 87,70   | 6,17   | 4,47  | 27,62     | 38,12   |
| 5  | 360,00  | 104,89  | 5,89   | 4,65  | 27,39     | 34,65   |
| 6  | 300,00  | 117,62  | 5,70   | 4,77  | 27,19     | 32,53   |
| 7  | 240,00  | 134,13  | 5,48   | 4,90  | 26,85     | 30,04   |
| 8  | 180,00  | 158,20  | 5,19   | 5,06  | 26,30     | 26,97   |
| 9  | 120,00  | 201,19  | 4,79   | 5,30  | 25,39     | 22,92   |
| 10   | 60,00   | 309,52  | 4,09   | 5,74  | 23,48     | 16,76   |
| 10,00                                      | 4980,00 | 1277,17 | 58,16  | 46,84 | 267,03    | 346,94  |
| Ln (d) =                                   | 8,2689  | d =     | 3900,5 | n =   | -0,6164   |         |

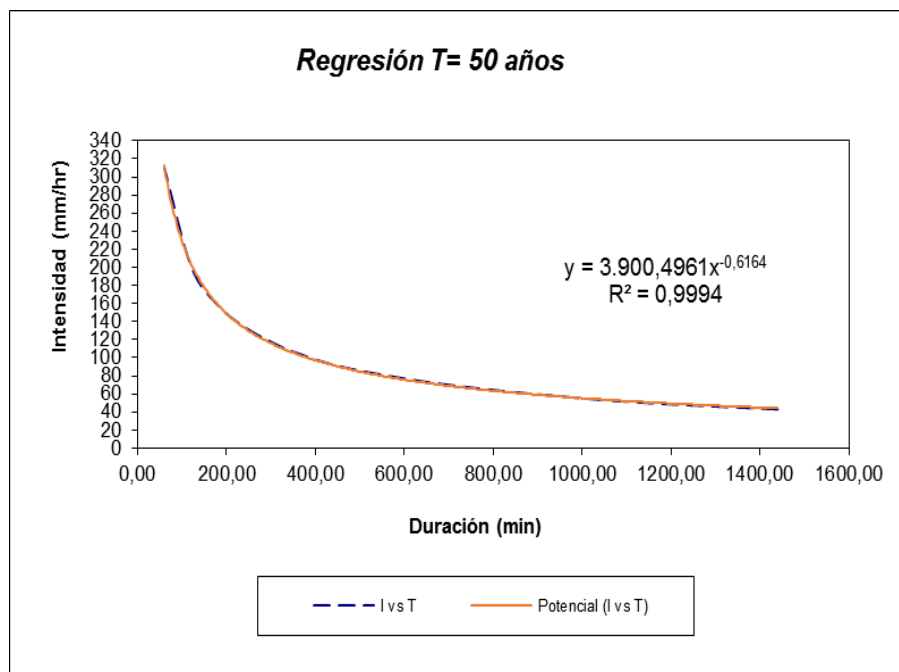
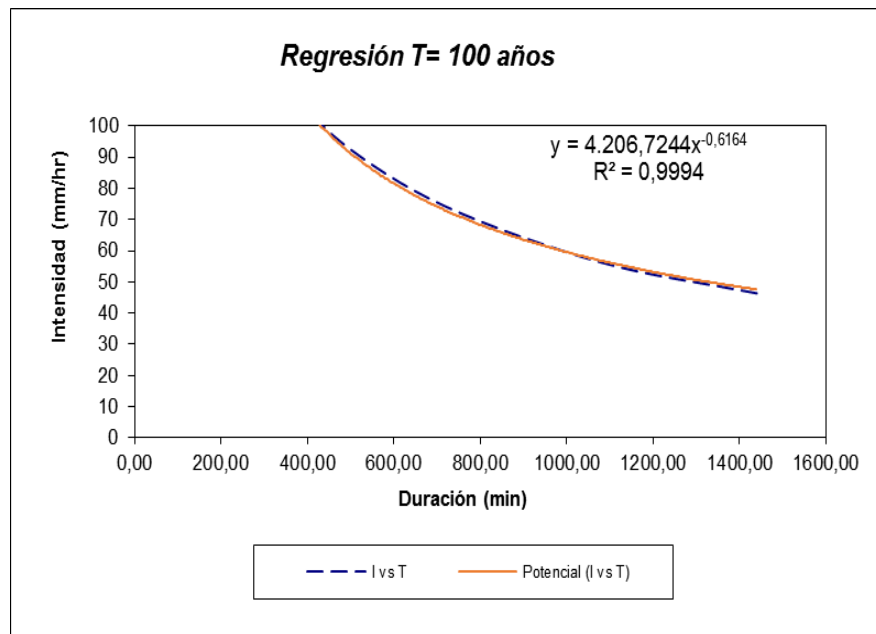


Figura 5.6: Regresión T= 50 años.

**Tabla XXVII.** Regresiones I-D-T (T=100 años)

| <i>Periodo de retorno para T = 100 años</i> |         |            |        |            |           |         |
|---|---------|------------|--------|------------|-----------|---------|
| Nº  | x       | y          | ln x   | ln y       | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1   | 1440,00 | 46,36      | 7,27   | 3,84       | 27,90     | 52,89   |
| 2   | 1080,00 | 56,25      | 6,98   | 4,03       | 28,15     | 48,79   |
| 3   | 720,00  | 74,18      | 6,58   | 4,31       | 28,33     | 43,29   |
| 4   | 480,00  | 94,58      | 6,17   | 4,55       | 28,09     | 38,12   |
| 5   | 360,00  | 113,13     | 5,89   | 4,73       | 27,83     | 34,65   |
| 6   | 300,00  | 126,85     | 5,70   | 4,84       | 27,62     | 32,53   |
| 7   | 240,00  | 144,66     | 5,48   | 4,97       | 27,26     | 30,04   |
| 8   | 180,00  | 170,62     | 5,19   | 5,14       | 26,69     | 26,97   |
| 9   | 120,00  | 216,98     | 4,79   | 5,38       | 25,76     | 22,92   |
| 10  | 60,00   | 333,82     | 4,09   | 5,81       | 23,79     | 16,76   |
| 10,00                                       | 4980,00 | 1377,44    | 58,16  | 47,60      | 271,42    | 346,94  |
| <i>Ln (d) =</i>                             | 8,3444  | <i>d =</i> | 4206,7 | <i>n =</i> | -0,6164   |         |



**Figura 5.7:** Regresión T= 100 años.

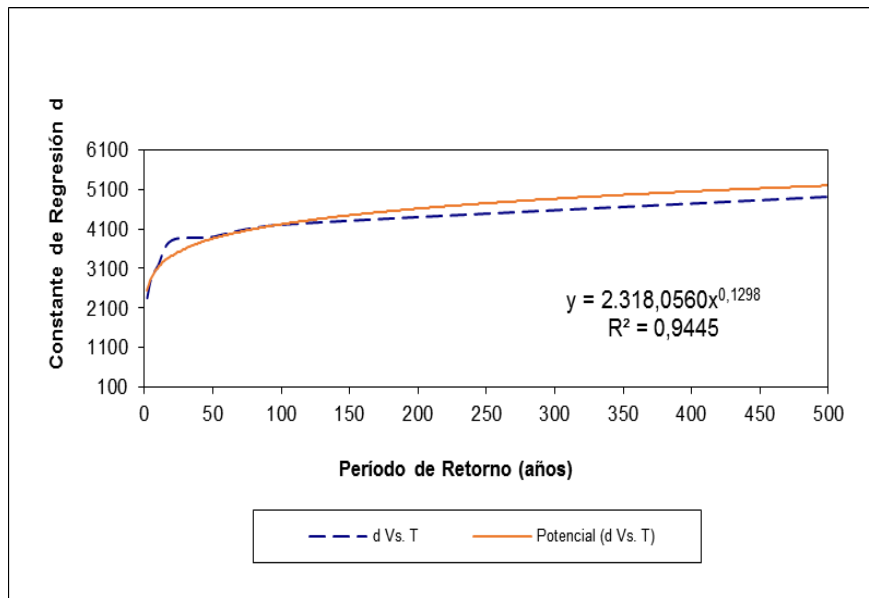
**Tabla XXVIII.** Resumen de aplicación de regresión potencial.

| <b>Resumen de aplicación de regresión potencial</b> |                                       |                               |
|---|---------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Período de Retorno (años)</b>                    | <b>Término ctte. de regresión (d)</b> | <b>Coef. de regresión [n]</b> |
| <b>2</b>  | 2349,8934                             | -0,6164                       |
| <b>5</b>  | 2847,0033                             | -0,6164                       |
| <b>10</b>   | 3176,1333                             | -0,6164                       |
| <b>20</b>   | 3810,6510                             | -0,6336                       |
| <b>50</b>   | 3900,4961                             | -0,6164                       |
| <b>100</b>  | 4206,7244                             | -0,6164                       |
| <b>Promedio =</b>                                   | 3381,8169                             | -0,6193                       |

Se determina los valores K y m en función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno y el término constante de regresión, para obtener valores de la ecuación 7.

**Tabla XXIX.** Regresión potencial, valores de K y m.

| <b>Regresión potencial</b> |               |                |                 |              |                  |                |
|----------------------------|---------------|----------------|-----------------|--------------|------------------|----------------|
| <b>Nº</b>                  | <b>x</b>      | <b>y</b>       | <b>ln x</b>     | <b>ln y</b>  | <b>ln x*ln y</b> | <b>(lnx)^2</b> |
| <b>1</b>                   | <b>2</b>      | <b>2349,89</b> | 0,69            | 7,76         | 5,38             | 0,48           |
| <b>2</b>                   | <b>5</b>      | <b>2847,00</b> | 1,61            | 7,95         | 12,80            | 2,59           |
| <b>3</b>                   | <b>10</b>     | <b>3176,13</b> | 2,30            | 8,06         | 18,57            | 5,30           |
| <b>4</b>                   | <b>20</b>     | <b>3810,65</b> | 3,00            | 8,25         | 24,70            | 8,97           |
| <b>5</b>                   | <b>50</b>     | <b>3900,50</b> | 3,91            | 8,27         | 32,35            | 15,30          |
| <b>6</b>                   | <b>100</b>    | <b>4206,72</b> | 4,61            | 8,34         | 38,43            | 21,21          |
| <b>6</b>                   | 187           | 20290,90       | <b>16,12</b>    | <b>48,64</b> | <b>132,23</b>    | <b>53,86</b>   |
| <b>Ln (K) =</b>            | <b>7,7081</b> | <b>K =</b>     | <b>2226,283</b> | <b>m =</b>   | <b>0,1483</b>    |                |



**Figura 5.8:** Regresión potencial

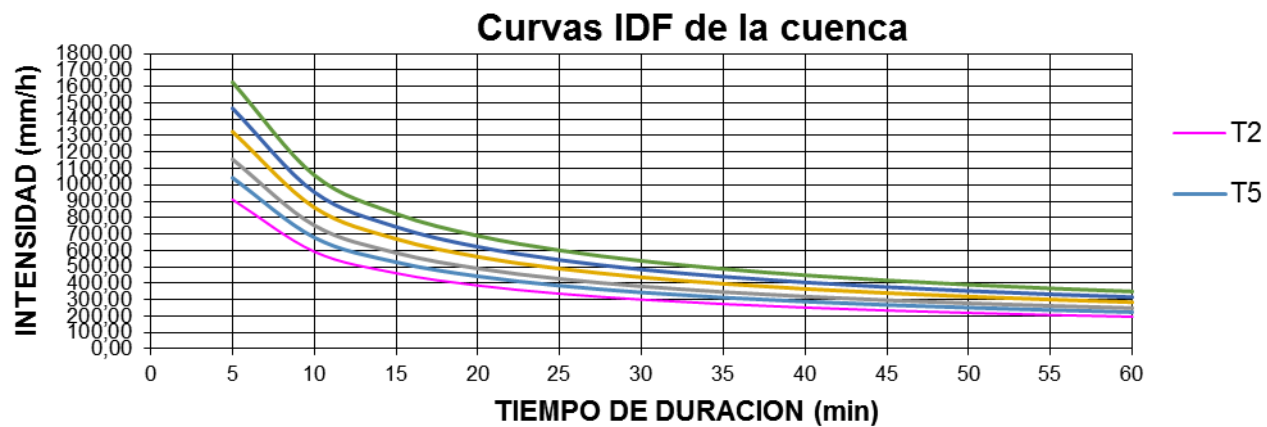
Con todos los parámetros establecidos, se puede escribir la ecuación de intensidad para los datos generados en la estación mencionada. La ecuación de intensidad para la cuenca es:

$$I = \frac{2226,283 * T^{0,1483}}{t^{0,6193}}$$

En la siguiente tabla, se puede observar mejor el comportamiento de la intensidad de lluvia

**Tabla XXX. Tabla de intensidades (mm)**

| Tabla de intensidades - Tiempo de duración |                     |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|---------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Frecuencia                                 | Duración en minutos |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| años                                       | 5                   | 10      | 15     | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     | 50     | 55     | 60     |
| <b>2</b>                                   | 910,69              | 592,87  | 461,22 | 385,96 | 336,15 | 300,26 | 272,92 | 251,26 | 233,59 | 218,83 | 206,29 | 195,47 |
| <b>5</b>                                   | 1043,22             | 679,14  | 528,34 | 442,12 | 385,06 | 343,95 | 312,64 | 287,83 | 267,58 | 250,68 | 236,31 | 223,91 |
| <b>10</b>                                  | 1156,14             | 752,65  | 585,53 | 489,98 | 426,74 | 381,18 | 346,48 | 318,98 | 296,54 | 277,81 | 261,89 | 248,15 |
| <b>25</b>                                  | 1324,39             | 862,18  | 670,74 | 561,28 | 488,84 | 436,65 | 396,90 | 365,40 | 339,70 | 318,24 | 300,00 | 284,26 |
| <b>50</b>                                  | 1467,74             | 955,51  | 743,34 | 622,04 | 541,76 | 483,92 | 439,86 | 404,95 | 376,47 | 352,69 | 332,47 | 315,03 |
| <b>100</b>                                 | 1626,61             | 1058,93 | 823,80 | 689,37 | 600,40 | 536,30 | 487,47 | 448,78 | 417,22 | 390,86 | 368,46 | 349,13 |



**Figura 5.9:** Curva IDF de la cuenca.

## Cálculo del Caudal

Para estimar el caudal del Río Babahoyo, es preciso estudiar la cuenca del mismo y conocer los parámetros geofísicos e hidrológicos. En este estudio se determinará el caudal de salida de la Cuenca de Babahoyo, teniendo en cuenta como estación hidrológica la estación ubicada en la universidad técnica de Babahoyo, puesto que no existen otras estaciones en el cuerpo de la misma.

El caudal se estimará empelando el método racional modificado (Temez), ya que los parámetros de la cuenca se ajustan a las condiciones de este método. El límite de aplicación de este método está impuesto por el Tiempo de Concentración y la Superficie de la cuenca en estudio.

$$0.25 h < \text{tiempo de concentración de la cuenca } (T_c) < 24 h$$

$$1 \text{ Km}^2 < \text{Área de la cuenca} < 3.000 \text{ Km}^2$$

**Tabla XXXI.** Parámetros de la Subcuenca del Río Babahoyo

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| Área                 | 6963,96 Km <sup>2</sup> |
| Perímetro            | 416,670 Km              |
| Longitud del cauce   | 138,333 Km              |
| Ancho                | 62,222 km               |
| Desnivel             | 2165,00 m               |
| Factor de compacidad | 1,410                   |
| Factor de forma      | 0,364                   |
| Pendiente            | 0,13                    |

### Método racional modificado de Temez

$$Q = 0.278 C I A K$$

Ec.10

Donde:

Q: Caudal

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad

A: Área

K: Coeficiente de uniformidad

#### a) Tiempo de concentración (Tc)

$$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Ec.11

Donde:

L: Longitud del cauce mayor (Km)

S: Pendiente promedio (m/m)

$$T_c = 0,3 \left( \frac{138,333}{0,13^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$T_c = 18,73 \text{ Hr}$$



**a) Coeficiente de uniformidad**

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14} \quad \text{Ec.12}$$

$$K = 1 + \frac{18,73^{1,25}}{18,73^{1,25} + 14}$$

$$K = 1,73$$

**b) Coeficiente de simultaneidad**

$$K_A = 1 - \left( \text{Log}_{10} \frac{A}{15} \right) \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

$$K_A = 1 - \left( \text{Log}_{10} \frac{6963,96}{15} \right)$$

$$K_A = 0,74$$

**a) Precipitación máxima corregida (P)**

$$P = K_A * P_d \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

$K_A$ : Factor reductor

$P_d$ : Precipitación máxima diaria (mm)

$$P = 0,74 * 923,64$$

$$P = 687,01 \text{ mm}$$

### b) Intensidad de precipitación

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad \text{Ec.15}$$

Donde:

P: Precipitación máxima corregida (mm)

$T_c$ : Tiempo de concentración (h)

En el método de Temez, la intensidad se determina con la ecuación 6, sin embargo, en este estudio se utilizara la ecuación de intensidad generada para la cuenca de Babahoyo, basada en los datos de precipitaciones.

$$I = \frac{2226,283 * T^{0,1483}}{t^{0,6193}}$$

$$I = 49.08 \text{ mm/Hr}$$

**a) Coeficiente de Escorrentía (C)**

$$C = \frac{(P_d - P_o) * (P_d + 23P_o)}{(P_d + 11P_o)^2} \quad \text{Ec.16}$$

Donde.

$P_d$ : Precipitación máxima diaria (mm)

$P_o$ : Umbral de escorrentía

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Ec.17}$$

CN: Numero de curvatura

**Tabla XXXII.** Número de curva de escorrentía para usos de selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.

| 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> :<br><br>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       |
| Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>  | 98                          | 98       | 98       | 98       |
| Calles y carreteras:<br>Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>  | 98                          | 98       | 98       | 98       |
| Grava  | 76                          | 85       | 89       | 91       |
| Tierra   | 72                          | 82       | 87       | 89       |

**Fuente:** Ven T Chau

Debido al tipo de vegetación: pastizales (condiciones pobres), y al tipo de suelo C; se elige un CN= 86.

$$S = \frac{25400}{86} - 254$$

$$S = 41,35 \text{ mm}$$

$$C = \frac{(P_d - P_o) * (P_d + 23P_o)}{(P_d + 11P_o)^2}$$

$$C = \frac{(923,64 - 41,35) * (923,64 + 23 * 41,35)}{(923,64 + 11 * 41,35)^2}$$

$$C = 0,870$$

$$Q = 0,278 C I A K$$

$$Q = 1430 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal máximo que transporta el Río Babahoyo es de 1430 m<sup>3</sup>/s, el cual nos da una idea de la magnitud del impacto si no existe drenaje, por esta razón se sugiere el dragado del río para aumentar su cauce y así evitar las avenidas en época invernal.

El material dragado, compuesto por arenas, se empleará para la construcción del terraplén en el predio donde se ubicará el relleno sanitario; esta estructura se realizará para elevar el nivel del terreno, puesto que la planicie es afectada por las inundaciones que se producen durante el periodo de lluvias.

# CAPITULO VI

## 6. DETERMINACION DE LA PRODUCCION DIARIA DE BASURA EN BABAHOYO.

### 6.1 Recolección de residuos solidos

La operación de recolección de los desechos sólidos es una de las etapas de la gestión de residuos sólidos urbanos, incluye la toma de los desechos sólidos de diversos orígenes y el transporte de estos residuos a un sitio de disposición final, el cual puede ser un botadero o un relleno sanitario. [4].

La gestión del servicio de recolección de los desechos sólidos del cantón Babahoyo está bajo la responsabilidad administrativa de la Dirección Municipal de Salud e Higiene Ambiental.

Los residuos son recolectados por macro y micro ruteos; por macro rutas se atiende a 9 sectores en el área urbana y 5 en el área rural, y por micro rutas de recolección se atiende a 50 sectores en el sector urbano y 23 en el sector rural.

Para el servicio de recolección de basura, la ciudad cuenta con 10 vehículos recolectores y 3 volquetes.

## **6.2 Caracterización de residuos solidos**

La ejecución de la caracterización de los residuos sólidos urbanos es sustancial para varios aspectos de la planificación y gestión de los mismos. Para seleccionar los equipos y maquinarias, el diseño de las rutas de recolección, las instalaciones de recuperación de materiales y las de disposición final, es necesario conocer las cantidades de residuos sólidos generadas por la población. [25]

Según información proporcionada por el Departamento de Salud, Higiene y Medio Ambiente de Babahoyo, en el cantón se efectuó una caracterización de desechos sólidos generados por la población atendida en el botadero de basura, a continuación, se muestra los resultados de la caracterización (Ver tabla XXXIII).



**Tabla XXXIII.** Proporciones y porcentajes de desechos sólidos.

| <b>ELEMENTOS</b>    | <b>Kg. Día</b>  | <b>PORCENTAJE %</b> |
|---------------------|-----------------|---------------------|
| Fundas Plásticas    | 72,55           | 7,25                |
| Saquillos Plásticos | 23,10           | 2,31                |
| Botellas Plásticas  | 198,00          | 19,80               |
| Textiles            | 21,28           | 2,13                |
| Papeles y Cartones  | 102,00          | 10,20               |
| Metales             | 8,00            | 0,80                |
| Vidrios             | 26,00           | 2,60                |
| Piedra y Ripio      | 7,00            | 0,70                |
| Materia Orgánica    | 542,07          | 54,21 %             |
| <b>TOTAL</b>        | <b>1.000,00</b> | <b>100,00</b>       |

**Fuente:** Departamento de Salud Higiene y Medio ambiente.

Se observa que la proporción de materia orgánica es bastante alta, razón por la cual la producción de lixiviados y gases debe ser también alta. Por lo anteriormente mencionado, al diseñar un relleno sanitario, este debe tener un sistema de drenaje para los lixiviados y un sistema de ventilación de los gases producidos por la descomposición de los residuos sólidos.

### **6.3 Producción Per cápita de residuos sólidos**

De la documentación otorgada por el Departamento de Salud, Higiene y Medio Ambiente se conoce que mediante estadística de toneladas/día de residuos dispuestos en el botadero, a este llegan 106 toneladas diarias de desechos sólidos urbanos.

Con la información de la cantidad de residuos sólidos diarios y el valor de la población del cantón, se puede determinar la tasa de generación de residuos sólidos. Al aceptar la producción de 160 toneladas de basura dispuestas al día para los 169.523 habitantes que tiene el cantón en la actualidad, nos daría una cantidad por habitante de 0.625 kg/Hab Día dispuesta.

Se conoce que la producción per cápita de residuos en poblaciones pequeñas puede aumentar el 1% cada año, sin embargo, para este trabajo se adoptó un valor de 0.5 %; con este dato se estimó la tasa de generación de desechos sólidos por persona para los años presentados en la siguiente tabla.

**Tabla XXXIV.** Producción Per cápita de residuos sólidos.

| <b>Año</b> | <b>Población<br/>(urbana y<br/>rural)</b> | <b>Producción<br/>Per Cápita<br/>(Kg/Hab<br/>Día)</b> | <b>Cantidad<br/>de Basura<br/>(Ton/día)</b> |
|------------|---|---|---|
| 2016       | 169.523                                   | 0,625   | 106   |
| 2017       | 171.038                                   | 0,630   | 108   |
| 2018       | 172.502                                   | 0,635   | 110   |
| 2019       | 173.917                                   | 0,640   | 111   |
| 2020       | 175.281                                   | 0,645   | 113   |
| 2021       | 178.787                                   | 0,650   | 116   |
| 2022       | 182.362                                   | 0,655   | 119   |
| 2023       | 186.010                                   | 0,660   | 123   |
| 2024       | 189.730                                   | 0,665   | 126   |
| 2025       | 193.524                                   | 0,670   | 130   |
| 2026       | 197.395                                   | 0,675   | 133   |
| 2027       | 201.343                                   | 0,680   | 137   |
| 2028       | 205.370                                   | 0,685   | 141   |
| 2029       | 209.477                                   | 0,690   | 145   |
| 2030       | 213.667                                   | 0,695   | 149   |
| 2031       | 217.940                                   | 0,700   | 153   |
| 2032       | 222.299                                   | 0,705   | 157   |
| 2033       | 226.745                                   | 0,710   | 161   |
| 2034       | 231.280                                   | 0,715   | 165   |
| 2035       | 235.905                                   | 0,720   | 170   |

# **CAPITULO VII**

## **7. ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICION FINAL DE LOS DESECHOS SOLIDOS**

### **7.1 Alternativa 1: Ubicación del Relleno Sanitario en el Sector del Cerro Cachari.**

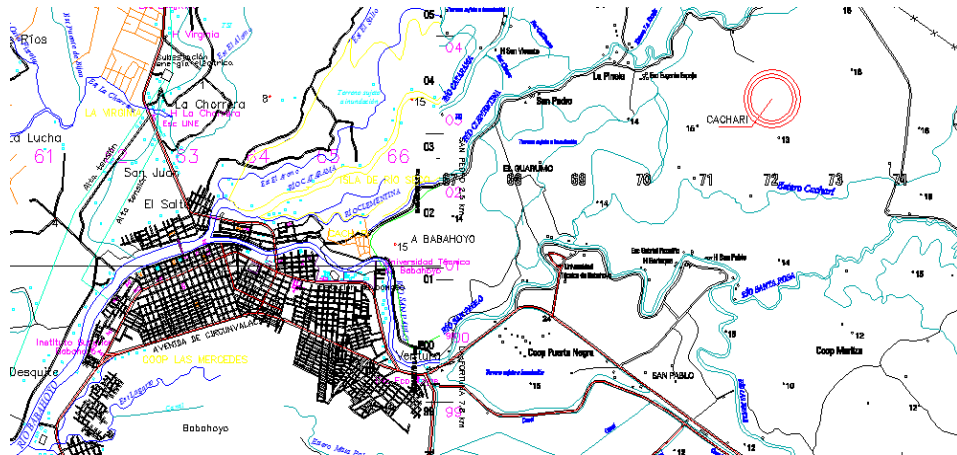
Mediante investigación de campo se determinó que en el sector denominado Cachari existe un afloramiento rocoso ígneo que al parecer es un extrusivo, la salida del cual determino una pequeña elevación de la gran planicie topográfica que se tiene en todo ese entorno. Esta situación implica que el área que ha sido afectada por el extrusivo Cachari que es de aproximadamente 10 hectáreas posee mayor altura que el resto de la planicie, por lo que no es susceptible de inundación, pese a que el río Ventanas está a menos de 10 m de distancia.

Por las razones antes mencionadas se considera que esta es una alternativa para realizar un relleno sanitario, es decir efectuar la disposición final de los desechos sólidos.

Cachari se encuentra a 9 km del centro del cantón de Babahoyo, sin embargo, hay que mencionar que la carretera de acceso existente es lastrada y presenta muchas curvaturas, por lo que pese a que la distancia mencionada es relativamente corta, el desplazamiento desde Babahoyo al sitio de interés toma más de una hora, en la época no lluviosa en tanto que con la presencia de lluvias, la carretera tiene bastante dificultades para permitir el tráfico.

Dado que se dispone de un área aproximadamente de 10 hectáreas la estructura del cuerpo del relleno sanitario puede ser del tipo piramidal y elevarse hasta una cota que garantice la estabilidad de los taludes que se van a formar.

La cercanía del río ventanas dificulta el manejo de los lixiviados, los cuales deben ser almacenados muy cuidadosamente, y en un reservorio tal que dicho líquido contaminante no se desborde hacia el río. En la siguiente figura se muestra la ubicación del cerro Cachari.



**Figura 7.1: Ubicación de la Alternativa 1**  
Fuente: GADM de Babahoyo

## **7.2 Alternativa 2: Ubicación del Relleno Sanitario en un área localizada en las cercanías del cantón Montalvo.**

Esta alternativa se tiene en cuenta bajo el criterio de que en el sector de Montalvo se puede disponer de cotas topográficas que evitaren la ocurrencia de inundaciones.

Como todas las áreas que rodean al cantón de Babahoyo, son terrenos cultivables que lamentablemente van a ser afectados si se construye un relleno sanitario. Debido a que debe manejarse los lixiviados y se requiere ocupar un área relativamente grande.

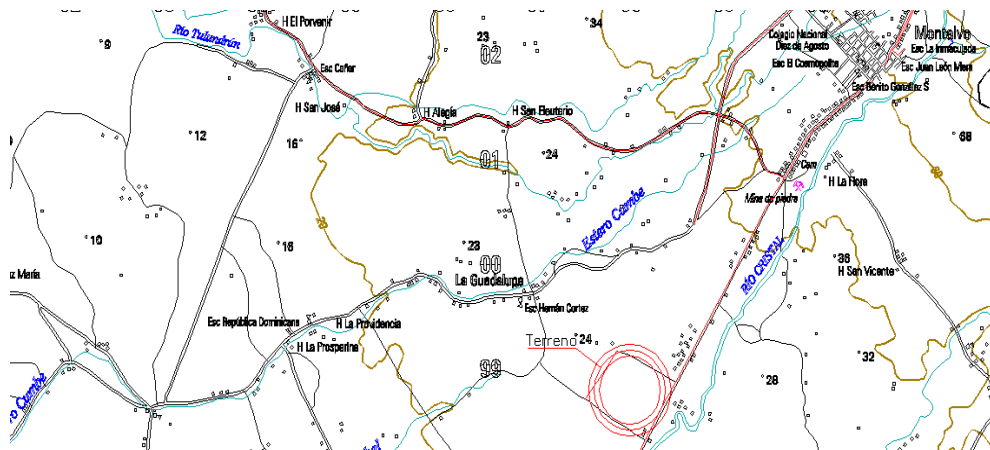
De acuerdo a las características geomorfológicas del lugar mencionado se reduce la existencia de acuíferos, debido a la recarga que se tiene en la falda

de la Cordillera de los Andes. Este es un aspecto fundamental a considerar ya que al no darse las condiciones adecuadas se pueden producir la contaminación del recurso de aguas subterráneas.

Otra situación importante a considerar dentro de esta alternativa es que debido a que existe una ligera pendiente en dirección este – oeste se tiene en forma natural un flujo de agua laminado cuando ocurren precipitaciones. En estas circunstancias un relleno sanitario requiere entre otros aspectos el diseño de obras que permita controlar el flujo de agua superficial.

La construcción de un relleno sanitario en las cercanías del cantón Playas de Montalvo también tendrá ciertas complicaciones debido a la ubicación geográfica política. Las autoridades del cantón Babahoyo deberán negociar o asociarse a las del cantón Montalvo en un proyecto conjunto de manejo de desechos sólidos, para de esta forma disponer de un área en la que se desarrolle el proyecto.

Esta es una interesante alternativa si se tiene en cuenta que un área que se ocupe para ejecutar el relleno debe tener la máxima duración posible en lo que respecta a la disposición final, para esto debe trabajarse en el manejo de los desechos sólidos en donde se debe trabajar en la separación, reciclaje, reutilización y en el caso de los desechos orgánicos en la realización de compostaje.



**Figura 7.2:** Ubicación de la alternativa 2  
Fuente: IGM

### 7.3 Alternativa 3: Ubicación del Relleno Sanitario en el área contigua al antiguo botadero de basura del cantón Babahoyo.

Se trata de aprovechar un área que desde hace varias décadas atrás ha sido utilizado como botadero y un relleno mediante celdas diarias de basura.

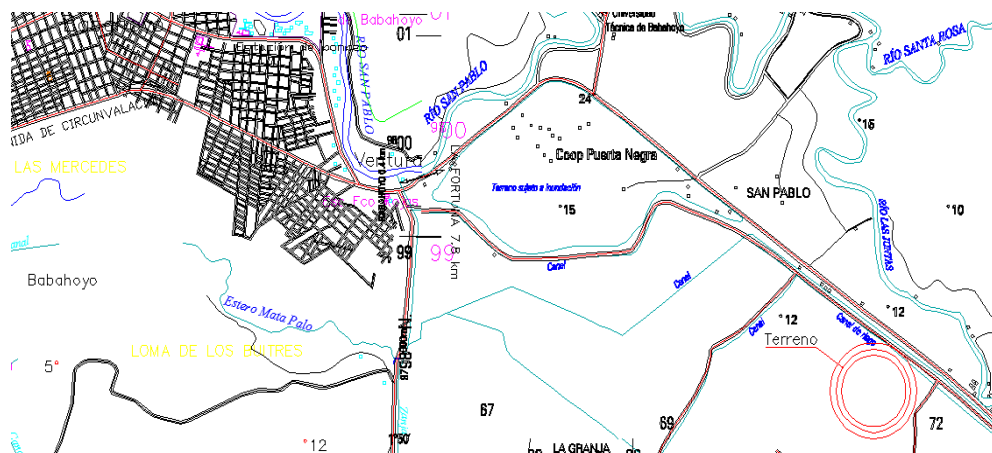
Este sitio de disposición final de basura se ubica en el kilómetro 8 de la vía Babahoyo-Montalvo; por medio de las cartas topográficas de estos cantones se constata que ese sector constituye el paso elevado de los volúmenes de agua que se recogen entre la vía a Montalvo y el río Cristal.

Esta situación determina la necesidad de analizar el comportamiento hidráulico de esa planicie que se inunda en un alto porcentaje durante la época lluviosa. En las cartas se puede observar la dirección del flujo, que



llega hasta el río Babahoyo y que de alguna manera está limitada por la carretera que parte desde Babahoyo hasta el sector de las juntas.

Para realizar el relleno sanitario en este predio, se ha considerado elevar el nivel del terreno mediante la construcción de un terraplén, y sobre este colocar las celdas diarias de desechos sólidos. Así esta obra no se verá afectada por el flujo de agua que atraviesa a la planicie durante los periodos de lluvias.



**Figura 7.3:** Ubicación de la Alternativa 3  
Fuente: IGM

#### **7.4 Restricciones para la selección de la alternativa más conveniente.**

Para seleccionar la alternativa más conveniente para este proyecto, se considerará restricciones en base a la ubicación del terreno y el análisis ambiental de la construcción del relleno sanitario en estos.

##### 7.4.1 Selección por ubicación del terreno

###### 7.4.1.1 Alternativa 1

La ubicación del relleno sanitario en el afloramiento rocoso ígneo del sector Cachari no será elegida en este trabajo, puesto que, si bien es cierto, que este predio no es susceptible a inundaciones, existen otras razones para descartar esta opción, las cuales se muestran a continuación.

##### Restricción

La vía de acceso hasta el cerro Cachari, presenta muchas curvaturas y es lastrada; ocasionando que el desplazamiento de los camiones recolectores de basura, desde el cantón Babahoyo hasta el cerro tome más de una hora en época seca. Con esta consideración, cabe recalcar que en época de lluvias se tomara más tiempo para llegar al lugar mencionado, y la vía tendría muchas dificultades para permitir el tráfico de los camiones.

La cercanía del río clementina al cerro es otra consideración que permite descartar esta alternativa; puesto que se dificulta el manejo de los lixiviados, los cuales deben ser almacenados en un depósito con mucho cuidado, el cual no permita el desborde de estos hacia el río.

#### 7.4.1.2 Alternativa 2

Esta alternativa, a pesar de que el territorio disponible en el sector Montalvo dispone de cotas topográficas que evitarían la ocurrencia de inundaciones, no se eligió por la siguiente razón.

#### Restricción

Debido a la ubicación geográfica política del predio se tendría ciertas complicaciones en la construcción de la obra de saneamiento, ya que este se ubica en las cercanías del cantón Montalvo. Esto ocasiona que, las autoridades del cantón Babahoyo tengan que negociar o asociarse a las del cantón Montalvo en un proyecto conjunto de manejo de residuos sólidos, para así poder desarrollar el proyecto en dicho terreno.

#### 7.4.1.3 Alternativa 3

Esta alternativa se seleccionó por varios aspectos positivos, sin embargo, esta opción también presenta limitaciones.

##### Restricción

Este predio es una planicie que se ve afectada por avenidas en época invernal. Al construir el relleno sanitario en este lugar, el fenómeno antes mencionado generaría que la obra no funcione de forma adecuada, esta sería inestable.

#### 7.4.2 Selección por análisis ambiental

##### 7.4.2.1 Alternativa 1

##### Restricción

El afloramiento rocoso ígneo ubicado en el Cachari, contiene una flora y fauna típica del sector. Al construir el relleno sanitario en este lugar, se verán afectadas las especies en mención.

Debido a que los rellenos sanitarios son fuentes de generación de gas metano y, en el sector del cerro Cachari existe una población cercana

(aproximadamente 10 casas), esta obra será perjudicial para la salud de los pobladores.

Si no se adopta sistemas de drenajes de lixiviados adecuados en el relleno, ocasionará la contaminación del suelo y con esto la agricultura del sector (sembríos de maíz y arroz, entre otros) se verá afectada.

El turismo, así como la economía del cantón serán afectados, debido a que el Municipio de Babahoyo ha creado planes de regeneración turística en ese sector, por lo cual al construirse el relleno crearía una sensación de ambiente no grato.

#### 7.4.2.2 Alternativa 2

##### Restricción

La construcción del relleno sanitario ubicado en la vía a Montalvo, resulta negativo al medio ambiente, puesto que afectaría a la flora, especies endémicas típicas (cacao, soya entre otros), y a la fauna del sector.

La población cercana al terreno será afectada indirectamente, por el olor característico que presentan los residuos, a la vez las aguas subterráneas serán afectadas de existir alguna infiltración por parte de la producción de lixiviados.

#### 7.4.2.3 Alternativa 3

Siendo la alternativa óptima en este trabajo, no tiene impactos de alto riesgo debido a que es continuo al botadero antiguo, por lo cual la flora y faunas endémicas del sector no serán afectadas.

### 7.5 Alternativa seleccionada

En este trabajo se eligió la alternativa 3: Ubicación del Relleno Sanitario en el área contigua al antiguo botadero de basura del cantón Babahoyo. A continuación, se describe las razones que permitieron elegir esta opción.

#### 7.5.1 Selección por ubicación del terreno

Se seleccionó esta alternativa debido a que existe una extensa área disponible, adyacente al antiguo botadero de basura del cantón Babahoyo; el sitio dispone de una vía de acceso transitable durante todo el año y no está ubicado en un lugar densamente poblado.

Para solucionar el problema de las inundaciones que afectan al predio, se ha sugerido la construcción de un terraplén para elevar el nivel del terreno y así evitar que este fenómeno afecte al relleno sanitario.

Esta obra de saneamiento está vinculada al control de inundaciones del cantón, debido a que el material de azolve del río Babahoyo, compuesto de arenas, será utilizado en la construcción del terraplén. El dragado de este material, ampliará el cauce del río, lo que permitirá que durante la época de lluvias, este no se desborde hacia las planicies.

#### 7.5.2 Selección por análisis ambiental

Esta alternativa es la más óptima, dado que, acorde a las visitas que se realizó al lugar, se pudo observar que no existe población cercana que pueda ser afectada por el relleno. Con respecto a la agricultura que es una actividad característica del cantón, tampoco existirá una afectación directa.

El suelo del terreno contiguo al antiguo botadero de Babahoyo, al no encontrarse en su estado original de fertilidad, puede ser utilizado para la construcción del relleno sanitario.

Debido a que el predio esta próximo al antiguo botadero de basura, se puede implementar planes de recuperación del ecosistema, con la finalidad de que el recurso suelo pueda ser utilizado en un futuro.

Se puede aplicar el programa Basura Cero que es el de reducir el consumo de los desechos sólidos y efectuar la reutilización de estos a través de charlas comunitarias.



# CAPITULO VIII

## 8. VINCULACION DE UN PROYECTO DE RELLENO SANITARIO CON SOLUCIONES PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES.

### 8.1 Disponibilidad de Materiales de azolve

La ciudad de Babahoyo, está situada en un área aluvial, es decir constantemente amenazada por inundaciones, en época invernal la ciudad sufre desbordamientos de los ríos San Pablo y Babahoyo, y del desplazamiento de las aguas procedentes de la sabana.

El río Babahoyo nace de la unión de dos ríos “La Clementina” y “San Pablo”, este se caracteriza por poseer un cauce rocoso y resistente a la erosión, con un flujo poco profundo y pendientes mayores a 0,5%. Parte del movimiento de los sedimentos en la corriente del río, se queda en el fondo de este, también se forma en las orillas del cauce barras de meandros, es decir, material de azolve consolidado.

Hace dos años atrás existió el proyecto de “Dragado del Río Babahoyo”. Los materiales de azolve extraídos, eran transportados para el sector contiguo de

la ciudad conocida como la sabana, en la actualidad, este proyecto se encuentra paralizado.

El material necesario para la construcción del terraplén, sobre el cual se ubicará el relleno sanitario, se obtendrá dragando el material de azolve del río Babahoyo. Con esta propuesta se pretende crear un plan de manejo para el control de inundaciones que existe en el cantón, durante épocas invernales.

## **8.2 Estimación de Volúmenes de Materiales disponibles**

Para la estimación del volumen del material de azolve disponible en el río, se emplearán los perfiles calculados en el Capítulo 3, desde la unión de los Ríos Clementina y San Pablo con cota 0+200 hasta la Cota 4+000 m. En la siguiente tabla se muestra el volumen de azolve que se puede obtener del río Babahoyo.

**Tabla XXXV.** Volumen de Azolves del Río Babahoyo.

| <b>Cota</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Longitud (m)</b> | <b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 0+200       | 51,75                       | 200,00              | 10349,60                       |
| 0+400       | 71,65                       | 200,00              | 14330,20                       |
| 0+600       | 64,68                       | 200,00              | 12935,40                       |
| 0+800       | 58,71                       | 200,00              | 11742,40                       |
| 1+000       | 59,65                       | 200,00              | 11929,40                       |
| 1+200       | 79,82                       | 200,00              | 15964,60                       |
| 1+400       | 82,35                       | 200,00              | 16469,20                       |
| 1+600       | 71,18                       | 200,00              | 14235,40                       |
| 1+800       | 84,86                       | 200,00              | 16971,60                       |
| 2+000       | 78,14                       | 200,00              | 15627,80                       |
| 2+200       | 85,55                       | 200,00              | 17110,00                       |
| 2+400       | 79,31                       | 200,00              | 15861,40                       |
| 2+600       | 82,72                       | 200,00              | 16543,80                       |
| 2+800       | 81,75                       | 200,00              | 16350,80                       |
| 3+000       | 76,74                       | 200,00              | 15348,00                       |
| 3+200       | 67,61                       | 200,00              | 13522,20                       |
| 3+400       | 70,73                       | 200,00              | 14145,60                       |
| 3+600       | 77,33                       | 200,00              | 15465,00                       |
| 3+800       | 80,90                       | 200,00              | 16179,20                       |
| 4+000       | 81,85                       | 200,00              | 16369,60                       |

Con un área total de 1.405,43 m<sup>2</sup> y una Longitud de 200 m se obtiene un volumen total de 281.081,60 m<sup>3</sup> del cual se puede comprobar que en cada perfil existe la posibilidad de realizar el relleno hidráulico y a la vez remediar a largo plazo el problema de las inundaciones.

# CAPITULO IX

## 9. DISEÑOS

### 9.1 Área de emplazamiento

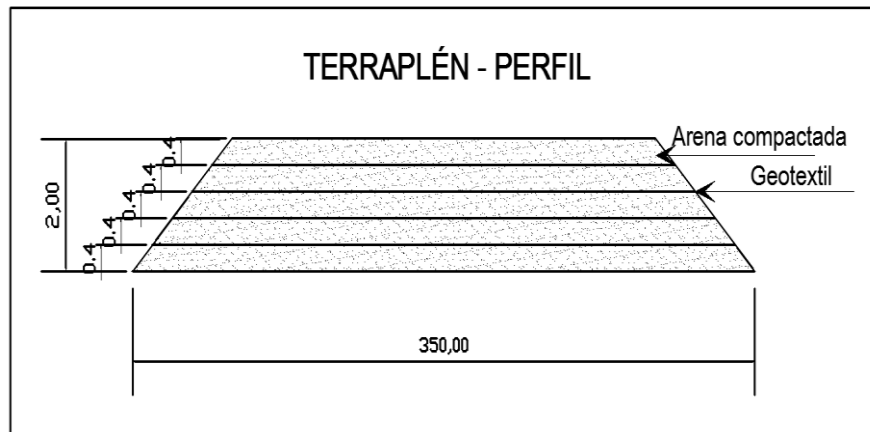
Se ubicará el relleno sanitario en el lote adyacente al antiguo botadero de basura, que se encuentra ubicado en el kilómetro 8 de la vía Babahoyo – Montalvo. Se cuenta con más de 12 hectáreas para realizar la obra de saneamiento propuesta en este proyecto.

#### 9.1.1 Elevación del nivel del terreno

Se ha considerado elevar el nivel del terreno mediante la construcción de un terraplén, ya que la planicie es afectada por crecidas durante la época invernal. El nivel del agua durante el período de lluvias, llega a más de 1 m de altura, por esta razón el terraplén tendrá una altura de 2 m.

Para la construcción, se empleará el material de azolve extraído del Río Babahoyo. El material dragado, está conformado por arenas limosas, con un ángulo de fricción  $\Phi = 28^\circ$ ; este se colocará en el terreno y será compactado en 5 capas de 40 cm para obtener la mejor resistencia de la arena (Ver figura

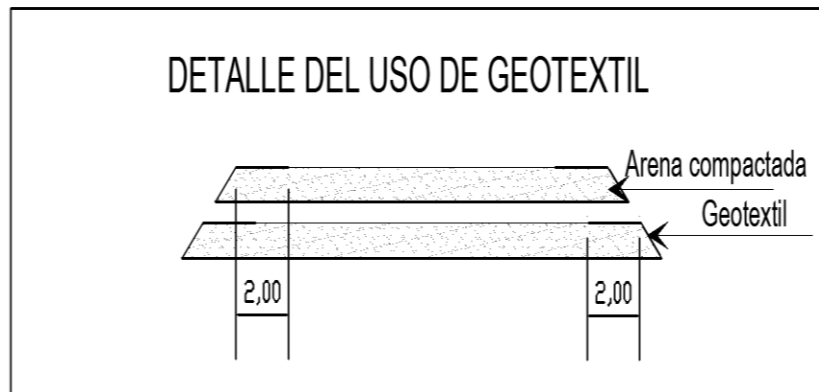
9.1). El área de emplazamiento será de 350 x 350 m y la inclinación del talud será de 0,75:1.



**Figura 9.1:** Perfil del terraplén

El volumen de arena que se necesitará para construir el terraplén, será de 243.950,00 m<sup>3</sup>. Cabe recalcar que previo a la construcción de la explanada, se realizará el desbroce del terreno y nivelación del terreno. El predio es plano y quedara nivelado a la cota mínima del terreno, que es de 4 m.

Cada capa estará cubierta con Geo textil no tejido 160NT 3000 para asegurar la estabilidad de la explanada (Ver figura 9.2). En el mercado se encuentra el geotextil en rollos con dimensiones de 3.8 x 110 m y un área de 418 m<sup>2</sup>.



**Figura 9.2:** Detalle del uso de geotextil.

En la siguiente tabla, se muestra el valor aproximado del área de cada capa; con estos datos y el área del rollo de geotextil, se determinó la cantidad de rollos que se deben emplear en el terraplén.

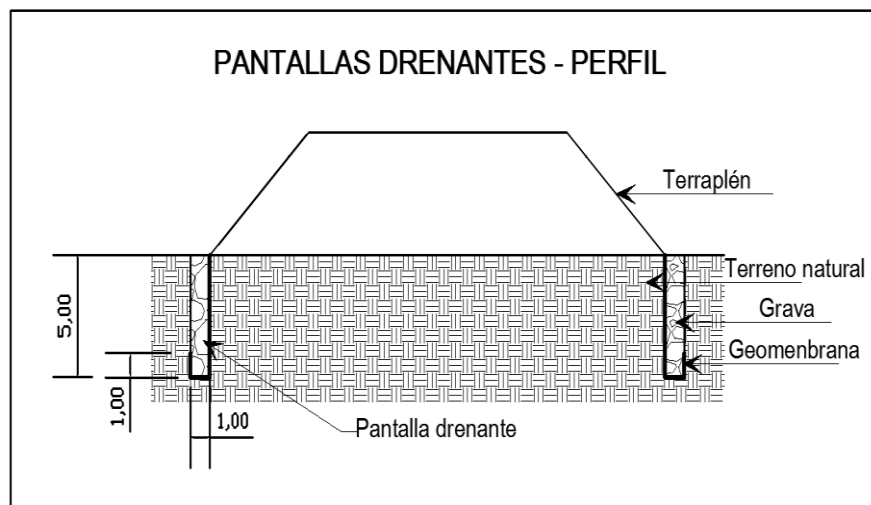
**Tabla XXXVI.** Cantidad de rollos de geotextil

| Terraplén    |                        | Geotextil          |
|--------------|------------------------|--------------------|
| Capa         | Área (m <sup>2</sup> ) | Cantidad (Rollos)  |
| 1            | 123199,40              | 307                |
| 2            | 122778,56              | 306                |
| 3            | 122358,44              | 305                |
| 4            | 121939,04              | 304                |
| 5            | 121520,36              | 303                |
| <b>Total</b> | 611795,8               | <b><u>1526</u></b> |

Para cubrir las capas del terraplén y mejorar la estabilidad de la estructura, se necesitarán 1526 rollos de geotextil.

### 9.1.2 Drenaje subterráneo en el área de emplazamiento

Con el fin de aislar el agua que ingresa al interior del suelo en el área de emplazamiento, se utilizará pantallas drenantes (Ver figura 9.3). Para su construcción, se excavará una zanja en todo el perímetro de la obra de saneamiento; esta tendrá 5m de profundidad y 1 m de ancho. En el interior, se colocará geomenbrana y material granular.



**Figura 9.3:** Pantallas drenantes.

La geomenbrana se encuentra en rollos de 7,01 metros de ancho y 380 metros de largo, y el área es de 2663.8 m<sup>2</sup>; Se cubrirá con este material un área de 9800 m<sup>2</sup>, por lo tanto, se empleará 4 rollos de geomenbrana.

## 9.2 Determinación de la celda diaria, características geométricas

Sobre la estructura del terraplén, se construirá el relleno sanitario conformado por celdas diarias de residuos sólidos. La celda diaria, es la unidad básica del relleno sanitario y en ella queda totalmente confinado los desechos que llegan a diario. Esta unidad estará definida por los siguientes parámetros: el frente de trabajo (ancho de la celda), la altura de la celda, el espesor de recubrimiento y el avance diario (largo de la celda).

Se construirá la celda diaria de residuos con un talud en el frente de trabajo de 2:1 con el propósito de maximizar la eficiencia de la compactación, la altura de la celda será de 1.5 m y el espesor de la capa de cobertura de 30 cm.

Para la construcción de las celdas diarias, si se emplea el procedimiento mecánico, se puede conseguir una densidad de 0.7 T/m<sup>3</sup>. La forma como se lleva a cabo la construcción de la celda es importante, puesto que de ello dependerá en gran medida el grado de consolidación y estabilidad estructural que alcanzará el relleno.

La celda se construirá de la siguiente manera:



- a) Descargar desde la orilla, en el frente de trabajo directamente al pie del talud los residuos.
- b) Esparcir los residuos creando contra pendiente de aproximadamente 1m de altura por 2m de base.
- c) Compactar los residuos en capas de aproximadamente 30 cm, pasando el equipo de compactación de 3 a 4 veces sobre ellos.
- d) Recubrir con tierra al final de la jornada, el espesor será de 30 cm.
- e) Repetir el ciclo diariamente.

## 9.2.1 Diseño de la celda diaria

### 9.2.1.1 Calculo de la celda

Para el cálculo de la celda diaria se deberá conocer la cantidad de residuos sólidos municipales generados diariamente, en la tabla XXXIV expuesta en el capítulo 6, se muestra estos valores para una proyección de 20 años.

Con la cantidad diaria de residuos que llegan al relleno sanitario y la densidad de estos recién compactados, se puede determinar el volumen de la celda diaria.

$$V_c = \frac{CDrs}{Drs} \quad \text{Ec.18}$$

Donde:

$V_c$ : Volumen de la celda diaria ( $m^3/día$ )

$CDrs$ : Cantidad diaria de RSM en el relleno (Ton/día)

$Drs$ : Densidad de los RSM recién compactados en el relleno sanitario, 0.6 Ton/ $m^3$ .

Además, con el valor del volumen y la altura de la celda, se puede conocer el área de esta.

$$A_c = \frac{V_c}{h_c} \quad \text{Ec.19}$$

Donde:

$A_c$ : Área de la celda diaria ( $m^2/día$ )

$V_c$ : Volumen de la celda diaria ( $m^3/día$ )

$h_c$ : altura de la celda (1.5m)

Remplazando valores en la ecuación 17 para la proyección de 20 años, se obtiene la siguiente tabla.

**Tabla XXXVII.** Volumen de las celdas diarias y anuales.

| <b>Año</b> | <b>Cantidad de Basura (Ton/día)</b> | <b>Volumen de celda diaria (m<sup>3</sup>/día)</b> | <b>Volumen de celda anual (m<sup>3</sup>/año)</b> | <b>Volumen acumulado (m<sup>3</sup>/año)</b> |
|------------|-------------------------------------|--|---|--|
| 2016       | 106                                 | 151  | 55423   | 55423  |
| 2017       | 108                                 | 154  | 56211   | 111634                                       |
| 2018       | 110                                 | 157  | 57142   | 168776                                       |
| 2019       | 111                                 | 159  | 58064   | 226841                                       |
| 2020       | 113                                 | 162  | 59138   | 285979                                       |
| 2021       | 116                                 | 166  | 60622   | 346601                                       |
| 2022       | 119                                 | 171  | 62310   | 408912                                       |
| 2023       | 123                                 | 175  | 64041   | 472953                                       |
| 2024       | 126                                 | 180  | 65997   | 538950                                       |
| 2025       | 130                                 | 185  | 67638   | 606588                                       |
| 2026       | 133                                 | 190  | 69505   | 676093                                       |
| 2027       | 137                                 | 196  | 71420   | 747513                                       |
| 2028       | 141                                 | 201  | 73585   | 821098                                       |
| 2029       | 145                                 | 207  | 75398   | 896496                                       |
| 2030       | 149                                 | 212  | 77463   | 973959                                       |
| 2031       | 153                                 | 218  | 79580   | 1053539                                      |
| 2032       | 157                                 | 224  | 81975   | 1135515                                      |
| 2033       | 161                                 | 230  | 83978   | 1219493                                      |
| 2034       | 165                                 | 236  | 86260   | 1305753                                      |
| 2035       | 170                                 | 243  | 88600   | <b><u>1394353</u></b>                        |

Se determinó que, a los 20 años, el relleno sanitario tendrá un volumen de desechos sólidos de 1'394.353 m<sup>3</sup>.

También se determinó los valores del área de las celdas diarias y anuales, usando la ecuación 18 (Ver tabla XXXVIII), donde se remplazó los valores de volúmenes diarios y la altura de las celdas diarias (1.5m).

**Tabla XXXVIII.** Área de las celdas diarias y anuales.

| <b>Año</b> | <b>Cantidad de Basura (Ton/día)</b> | <b>Área de la celda diaria (m<sup>2</sup>/día)</b> | <b>Área de la celda anual (m<sup>2</sup>/año)</b> |
|------------|-------------------------------------|--|---|
| 2016       | 106                                 | 101  | 36848   |
| 2017       | 108                                 | 103  | 37474   |
| 2018       | 110                                 | 104  | 38095   |
| 2019       | 111                                 | 106  | 38710   |
| 2020       | 113                                 | 108  | 39426   |
| 2021       | 116                                 | 111  | 40415   |
| 2022       | 119                                 | 114  | 41540   |
| 2023       | 123                                 | 117  | 42694   |
| 2024       | 126                                 | 120  | 43998   |
| 2025       | 130                                 | 124  | 45092   |
| 2026       | 133                                 | 127  | 46337   |
| 2027       | 137                                 | 130  | 47613   |
| 2028       | 141                                 | 134  | 49057   |
| 2029       | 145                                 | 138  | 50265   |
| 2030       | 149                                 | 141  | 51642   |
| 2031       | 153                                 | 145  | 53054   |
| 2032       | 157                                 | 149  | 54650   |
| 2033       | 161                                 | 153  | 55985   |
| 2034       | 165                                 | 158  | 57507   |
| 2035       | 170                                 | 162  | 59067   |

Con los valores del área de las celdas, se estimó las dimensiones de esta unidad. Se fijó que las celdas diarias tendrán una altura de 1,5 m y un ancho

de 10 m, dejando como valor variable el largo. A continuación, se muestra las dimensiones de las celdas diarias para la proyección de 20 años.

**Tabla XXXIX.** Dimensiones de las celda diarias.

| Año  | Dimensiones |           |            |
|------|-------------|-----------|------------|
|      | Largo (m)   | Ancho (m) | Altura (m) |
| 2016 | 10          | 10        | 1,5        |
| 2017 | 10          | 10        | 1,5        |
| 2018 | 10          | 10        | 1,5        |
| 2019 | 11          | 10        | 1,5        |
| 2020 | 11          | 10        | 1,5        |
| 2021 | 11          | 10        | 1,5        |
| 2022 | 11          | 10        | 1,5        |
| 2023 | 12          | 10        | 1,5        |
| 2024 | 12          | 10        | 1,5        |
| 2025 | 12          | 10        | 1,5        |
| 2026 | 13          | 10        | 1,5        |
| 2027 | 13          | 10        | 1,5        |
| 2028 | 13          | 10        | 1,5        |
| 2029 | 14          | 10        | 1,5        |
| 2030 | 14          | 10        | 1,5        |
| 2031 | 15          | 10        | 1,5        |
| 2032 | 15          | 10        | 1,5        |
| 2033 | 15          | 10        | 1,5        |
| 2034 | 16          | 10        | 1,5        |
| 2035 | 16          | 10        | 1,5        |

Así mismo, se determinó la cantidad de niveles necesarios para ubicar las celdas diarias generadas durante los 20 años proyectados en este trabajo, la cantidad de celdas que tendrán cada nivel y los meses de operación (Ver

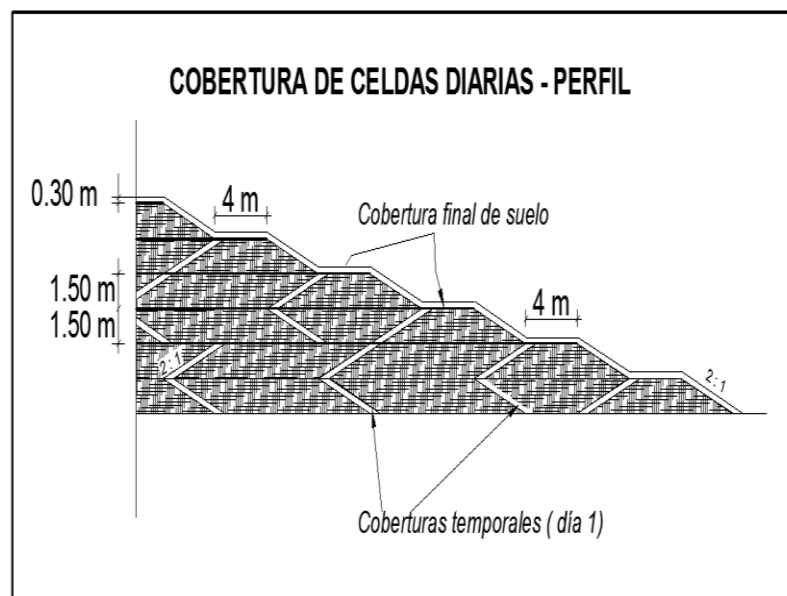
tabla XL). Para los 20 años proyectados en este trabajo, se formarán 16 plataformas.

**Tabla XL.** Niveles de las celdas diarias.

| Niveles | Dimensiones |           | Área (m <sup>2</sup> ) | Cantidad de celdas diarias | Meses de operación |
|---------|-------------|-----------|------------------------|----------------------------|--------------------|
|         | Largo (m)   | Ancho (m) |                        |                            |                    |
| 1       | 339         | 339       | 114921                 | 1120                       | 37                 |
| 2       | 325         | 325       | 105625                 | 977                        | 33                 |
| 3       | 311         | 311       | 96721                  | 842                        | 28                 |
| 4       | 297         | 297       | 88209                  | 723                        | 24                 |
| 5       | 283         | 283       | 80089                  | 625                        | 21                 |
| 6       | 269         | 269       | 72361                  | 539                        | 18                 |
| 7       | 255         | 255       | 65025                  | 468                        | 16                 |
| 8       | 241         | 241       | 58081                  | 404                        | 13                 |
| 9       | 227         | 227       | 51529                  | 349                        | 12                 |
| 10      | 213         | 213       | 45369                  | 300                        | 10                 |
| 11      | 199         | 199       | 39601                  | 257                        | 9                  |
| 12      | 185         | 185       | 34225                  | 217                        | 7                  |
| 13      | 171         | 171       | 29241                  | 184                        | 6                  |
| 14      | 157         | 157       | 24649                  | 152                        | 5                  |
| 15      | 143         | 143       | 20449                  | 126                        | 4                  |
| 16      | 129         | 129       | 16641                  | 22                         | 1                  |

### 9.2.1.2 Cobertura para las celdas diarias

Como se mencionó anteriormente, la capa de cobertura para la celda diaria será de suelo arcillo limoso y tendrá un espesor de 0,30 m. En la siguiente figura se muestra parte del perfil del relleno con la cobertura.



**Figura 9.4:** Cobertura de celdas diarias.

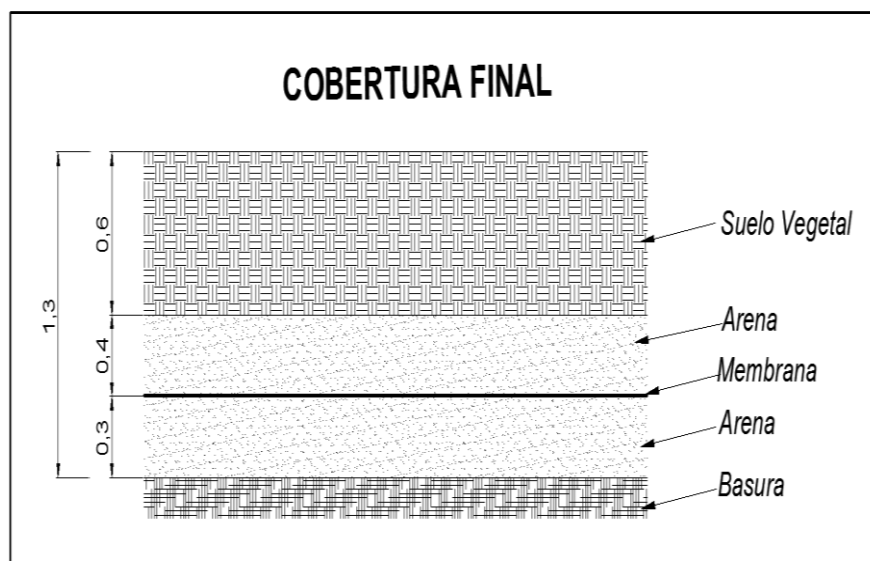
La cobertura final del relleno sanitario estará formada por varias capas (ver figura 9.5), las cuales mantendrán la integridad y el rendimiento del relleno sanitario; con esta capa evita el ingreso de agua lluvia, minimiza la erosión del agua lluvia y el viento, y evita el escape de gases.

El espesor de la cobertura será de 1,3 m y estará formada por una capa con material separador (arena), cuyo espesor será de 0,30 m; un sistema

impermeabilizante (geomembrana); un sistema filtrante (arena), de espesor 0,40 cm y una capa de suelo vegetal, el espesor de esta capa será de 0,60 cm.

Se conoce que el total de área a cubrir con cobertura final, será de 105.388,00 m<sup>2</sup>. Con este valor se puede estimar la cantidad de rollos de geomembranas que se van a necesitar para la cobertura y también se podrá establecer el volumen de arena y suelo vegetal.

Se determinó que para la cobertura final se necesitaran aproximadamente 41 rollos de geomembranas, un volumen de arena de 73771 m<sup>3</sup> y un volumen de 63233 m<sup>3</sup> de suelo vegetal.



**Figura 9.5:** Cobertura final.

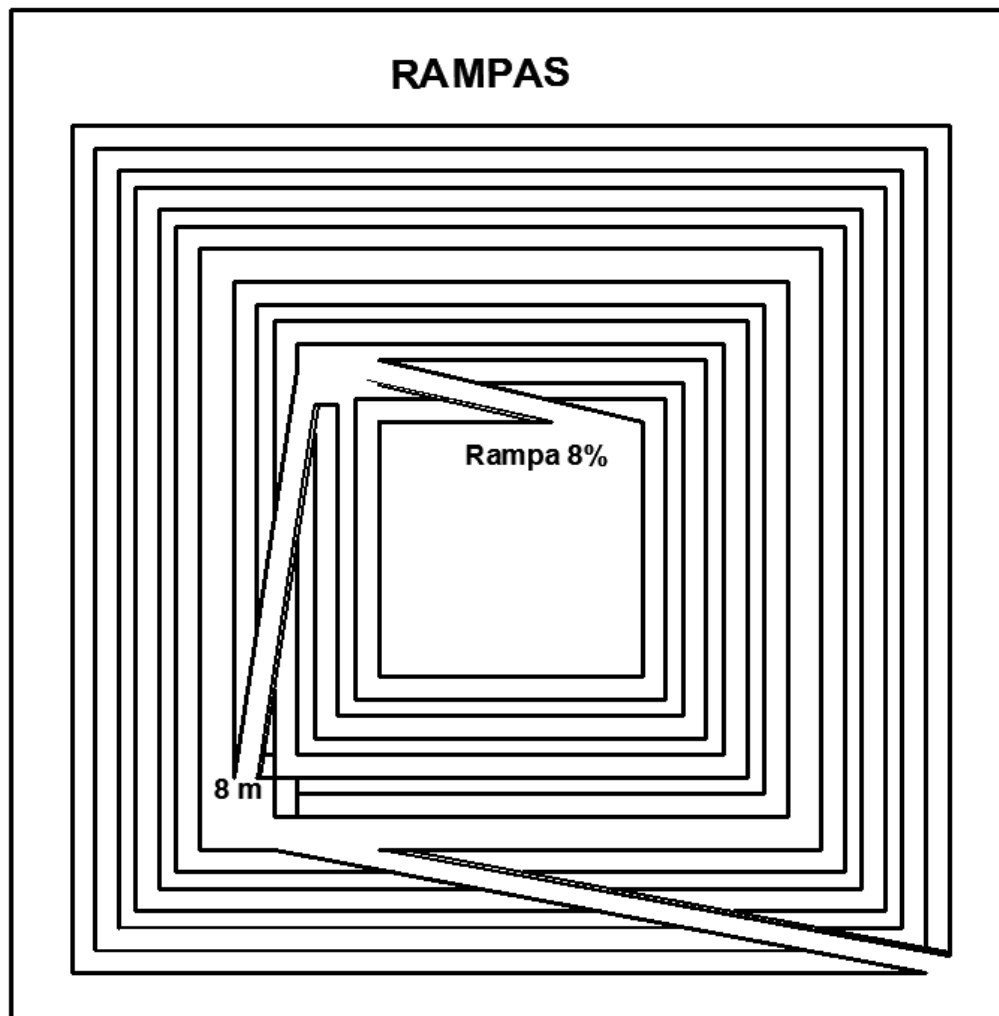


La altura total del relleno sanitario será de 31,8 m (Ver tabla XLI), para conocer este valor, se consideró la altura de los niveles de celdas diarias, el espesor de la cobertura para cada nivel y la altura del terraplén.

**Tabla XLI.** Altura del relleno sanitario.

| <b>Elemento</b> | <b>Niveles</b> | <b>Altura (m)</b> | <b>Altura Total (m)</b> |
|-----------------|----------------|-------------------|-------------------------|
| Celdas          | 16             | 1,5               | 24                      |
| cobertura       | 15             | 0,3               | 4,5                     |
| Cobertura final | 1              | 1,3               | 1,3                     |
| terraplén       | 1              | 2                 | 2                       |
| <b>Total</b>    |                |                   | <b><u>31,8</u></b>      |

Para trasladarse a los diferentes niveles, será necesario construir caminos ascendentes; por esta razón se construirá 3 rampas (Ver figura 9.6), con una inclinación de 8% y un ancho de 8 m. La primera rampa llegara hasta el nivel 6, a partir de este se construirá la segunda rampa, la cual llegara hasta el nivel 12 y la tercera hasta el nivel 16



**Figura 9.6:** Rampas.

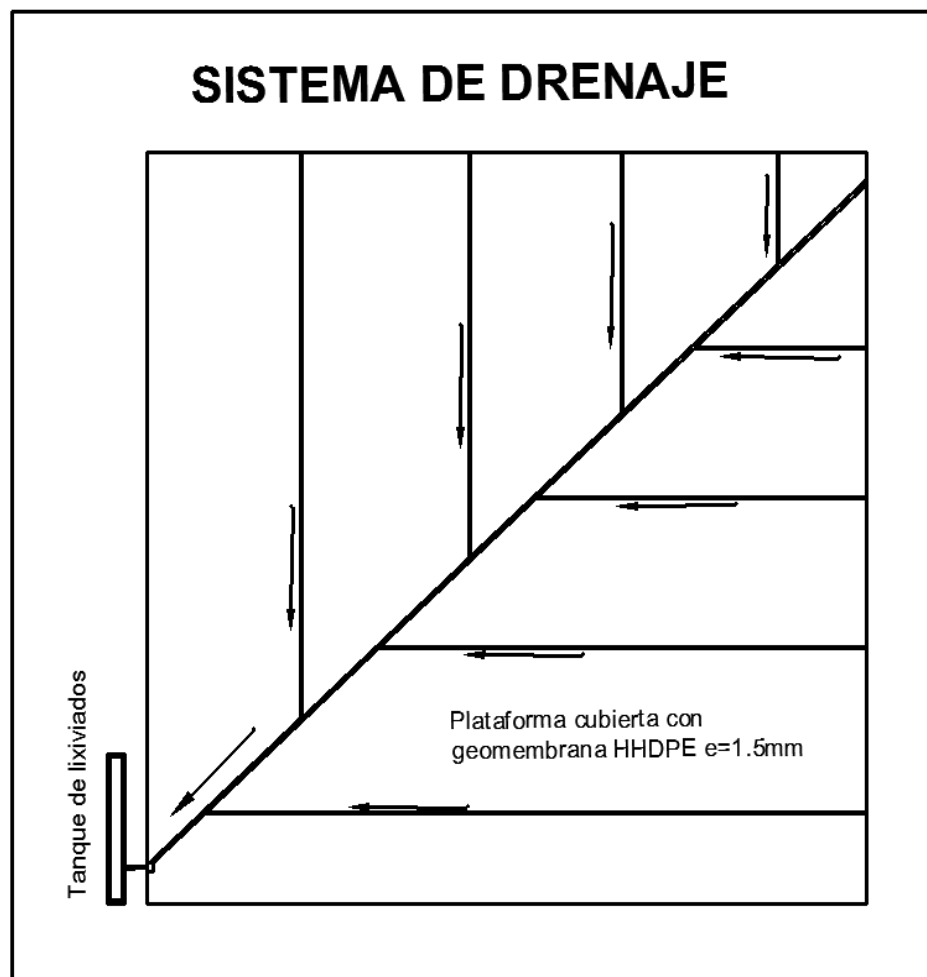
### 9.3 Manejo de lixiviados

Los lixiviados, son los líquidos producidos por la descomposición de los residuos y el agua que ingresa al relleno durante la época invernal. Para recolectar y conducir los lixiviados, se debe construir un sistema formado por drenes de grava y una laguna de evaporación.

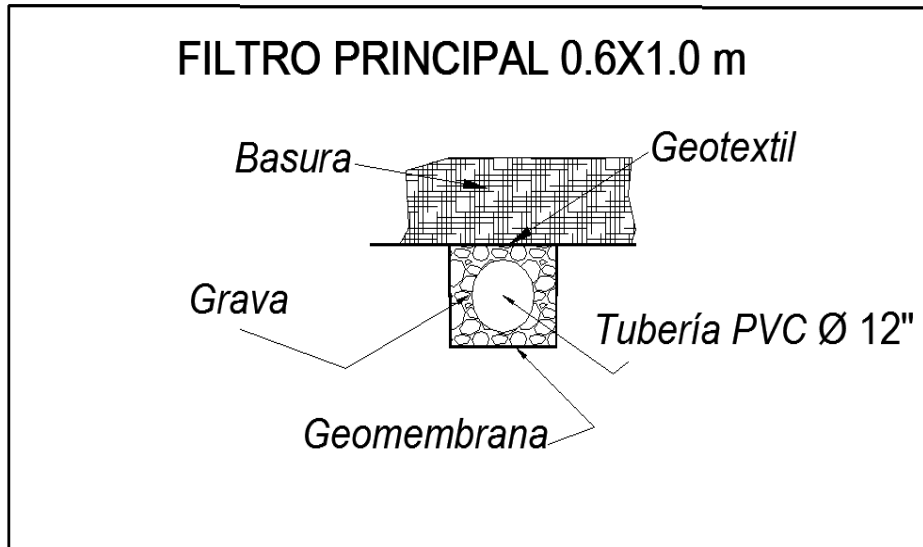
El sistema de drenaje estará constituido por un filtro de lixiviado principal construido en la base del relleno, que estará cubierta con geomembrana HDDPE  $e=1.5\text{mm}$ . La sección cuadrada del filtro tendrá 1 metro de ancho, 0,60 metros de profundidad y una longitud de 492 metros; en el interior de la sección, se instalará una tubería PVC  $\Phi 12''$  con ranuras laterales de  $\frac{1}{2}'' \times 2''$  y se cubrirá el resto de la sección con grava entre 5 y 20''.

Se conectarán filtros de drenaje secundarios al filtro principal, cuya sección cuadrada tendrá 0.6 metro de ancho, 0,60 metros de profundidad; la tubería instalada en el interior de este será de PVC  $\Phi 6''$ , esta también tendrá ranuras de  $\frac{1}{2}'' \times 2''$ . En la figura 36, se muestra el sistema de drenaje de lixiviados y en las figuras 37 y 38 se muestra los detalles de los filtros, principal y secundarios respectivamente. Cabe recalcar que estos filtros recogen los lixiviados de las plataformas superiores.

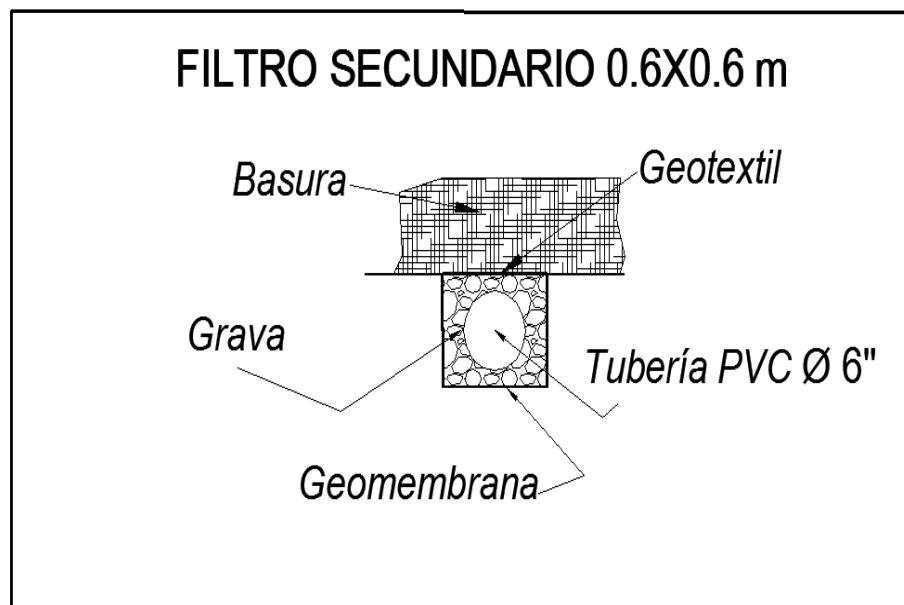
Previo a la colocación de los drenes de sección cuadrada, se pondrá una capa de arena de 0,30 m de espesor y luego se colocará geomembrana. El área a cubrir será de 114921 m<sup>2</sup> por lo tanto se necesitará 34476,3 m<sup>3</sup> de arena y 3700 rollos de geomembrana.



**Figura 9.7:** Sistema de drenaje de lixiviados.



**Figura 9.8:** Filtro de lixiviados principal.



**Figura 9.9:** Filtro de lixiviados secundario.

El filtro principal llegará hasta el tanque de lixiviados y tendrá una pendiente de 0,1%. El tanque tendrá una longitud de 250 m, un ancho de 5m y una profundidad de 4 m, con estas dimensiones el reactor podrá retener 5000 m<sup>3</sup> de lixiviados; además este tendrá una cubierta, hecha de caña guadua para evitar que el agua de las lluvias, ingresen al taque.

#### **9.4 Manejo de gases**

De la descomposición de los desechos sólidos se producen gases, los cuales deben ser drenados al exterior del relleno sanitario. Para la ventilación de estos, se instalarán chimeneas adaptadas desde la base del relleno. La chimenea se construirá con caña guadua, cuyas dimensiones son de 1m x 1m, en el interior se colocará piedras ( $\Phi$  10-20 cm).

La altura de esta estructura es variable, depende de los niveles de celdas a construirse; al llegar al último nivel, se llenará la sección de concreto con un espesor de 0.40 m, también se colocará un tubo PVC  $\Phi$  4" perforado cada 0.1 m, un tubo galvanizado  $\Phi$  1" y un quemador. En la siguiente figura se muestra el detalle de la chimenea.

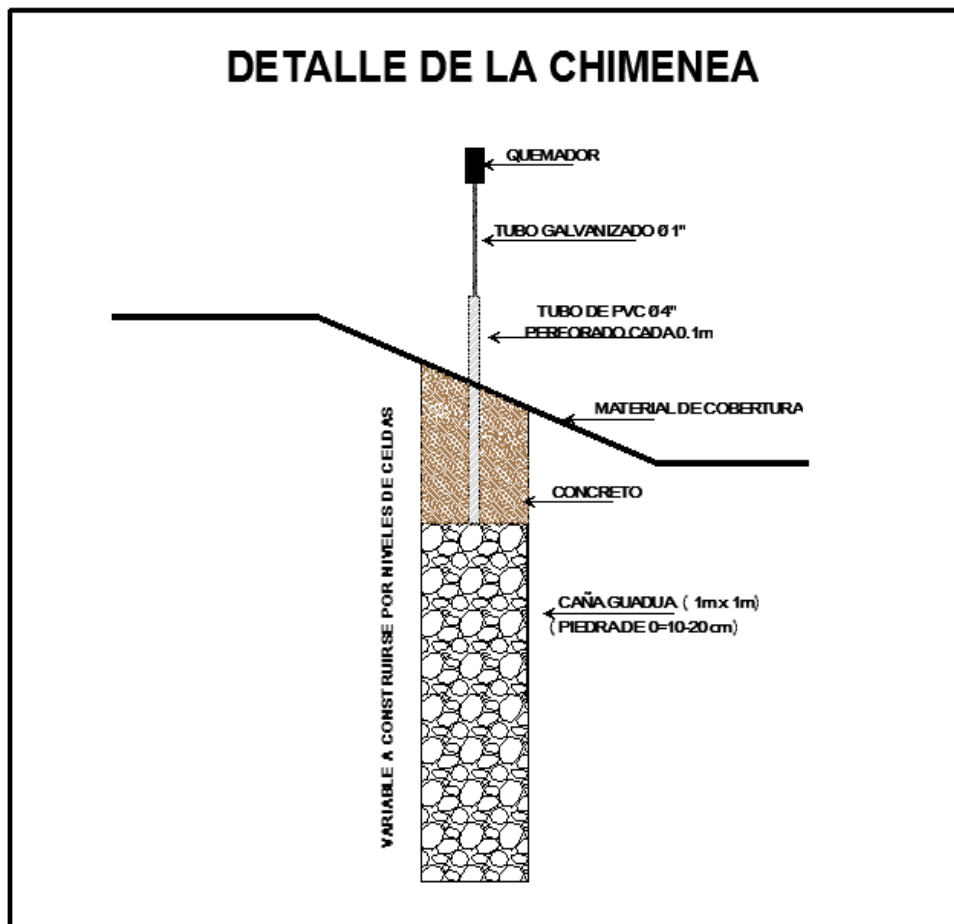


Figura 9.10: Detalle de la chimenea

## **9.5 Otros elementos**

### 9.5.1 Cunetas

Controlando las aguas de escorrentía mediante canales interceptores a nivel perimetral, se disminuye el ingreso de las aguas lluvia y la cantidad de lixiviado, sobre todo en zonas lluviosas. Se construirá una cuneta de sección rectangular de 0.5 metros de ancho y 0.5 metros de profundidad.

### 9.5.2 Cerca Viva

Junto a la cuneta, en todo el perímetro del relleno se deberá conformar una cerca de árboles típicos de la zona; la cerca viva será de 50 m de ancho, usando arbustos en los bordes y arboles más altos en el centro. Con este elemento, se podrá desviar los vientos y reducir la molestia en los alrededores causada por malos olores.

## **9.6 Estabilidad del cuerpo de relleno sanitario**

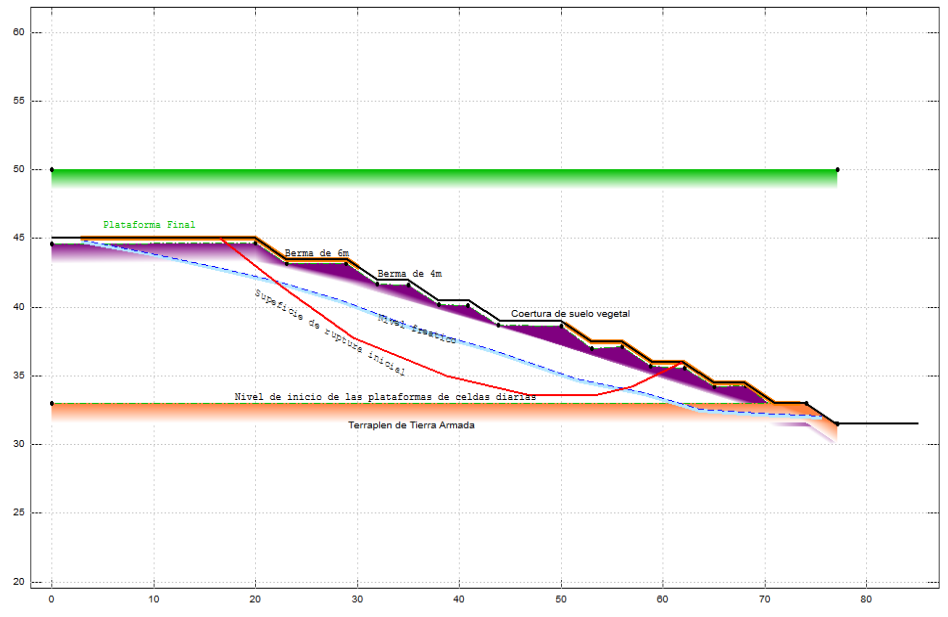
La capacidad de los rellenos sanitarios aumenta en función de la altura y pendiente de sus taludes. Con la finalidad de evitar problemas geotécnicos, se deben conocer los aspectos geotécnicos relacionados con la estabilidad de taludes.



Para determinar la estabilidad de taludes donde se debe garantizar la seguridad contra alguna falla o deslizamiento durante la operación y culminación de un relleno sanitario, los métodos más utilizados son el de Bishop simplificado, Jambú simplificado y el de desplazamiento translacionales, del cual se debe considerar las características geológicas y geomecánicas de los materiales que conforman el talud, así como los parámetros de resistencia al corte, el de infiltración hacia los taludes, el comportamiento esfuerzo – deformación, el nivel freático y el factor de seguridad.[19]; [5].

Un factor importante que se debe de considerar al momento de realizar un estudio de la estabilidad del talud, es el de la compresibilidad de los residuos sólidos, debido a que estos en su gran mayoría presentan grandes asentamientos al momento de ser depositados en un relleno, con lo cual la capacidad de ello tiende a aumentar. [5]

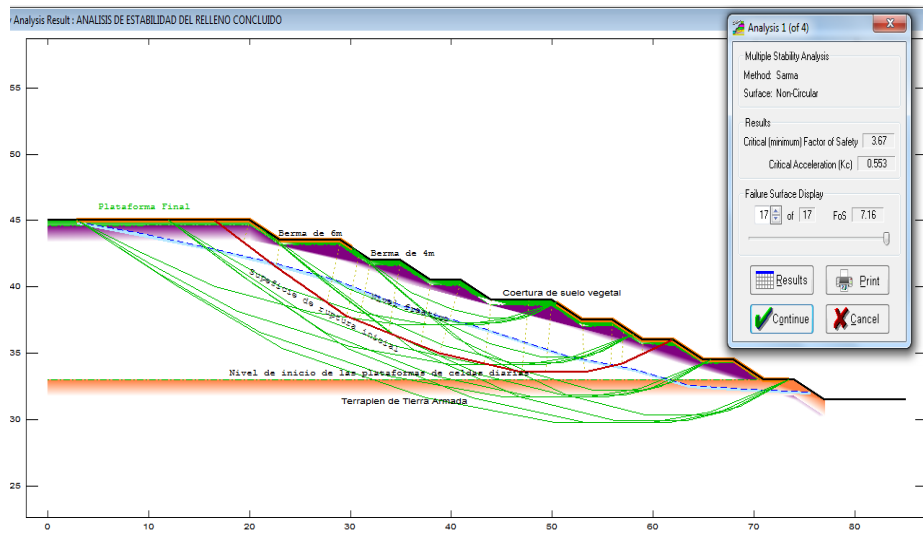
Se utilizó el Programa Galena que permite analizar la estabilidad de taludes considerando diferentes métodos de estabilidad para obtener un correspondiente factor de seguridad; tomando en cuenta las condiciones hidrológicas y geológicas del lugar donde se encuentra la obra sanitaria. [17]; [7]



**Figura 9.11:** Analisis de estabilidad de taludes con el programa Galeno.

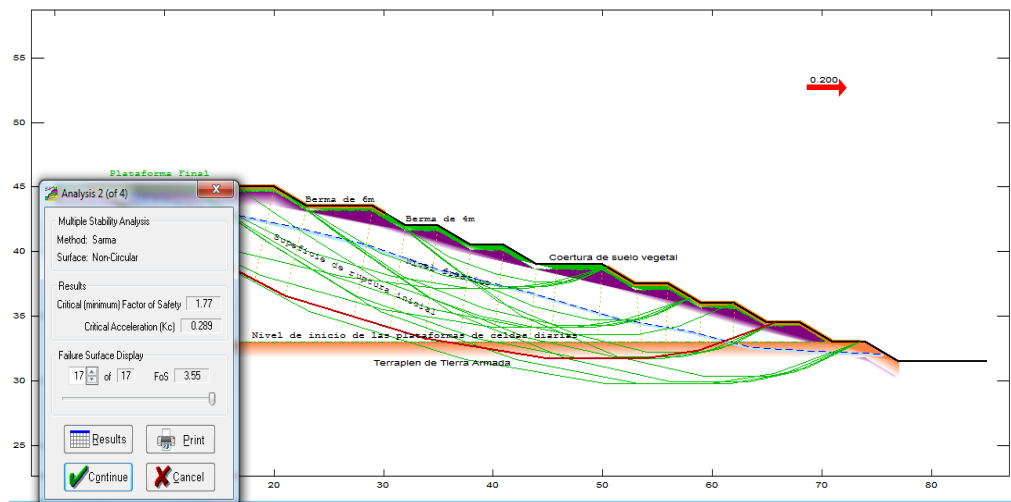
A continuación, se presentan las corridas del sitio en estudio, donde se fue variando la fuerza sísmica para así comparar los impactos generados por tal fenómeno sobre el talud.

De la corrida 1, donde no se consideró sismicidad, se obtuvo un factor de seguridad de 3,67, esto demuestra que el relleno es muy estable.



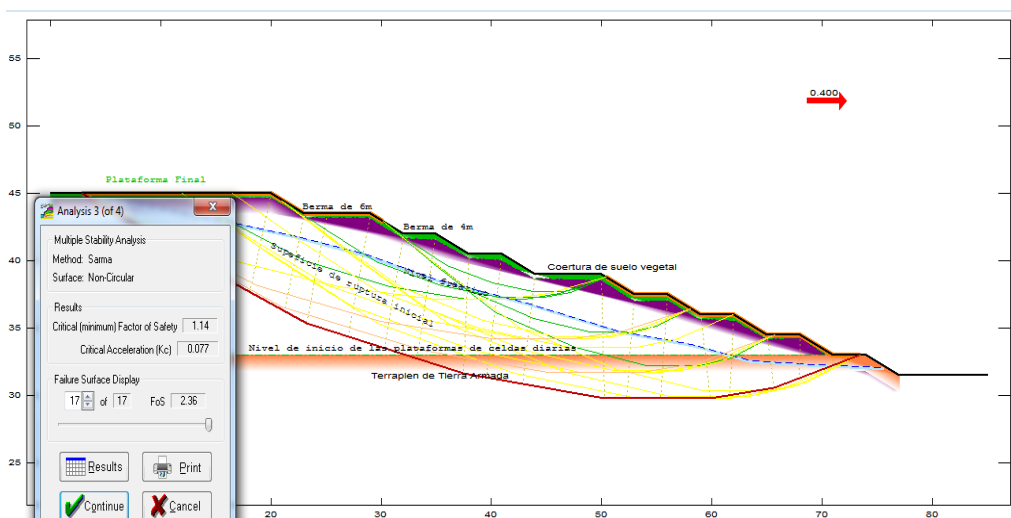
**Figura 9.12:** Corrida 1 Análisis sin considerar sismicidad.

En la corrida 2, se consideró una aceleración sísmica de 0,20g; se obtuvo un factor de seguridad de 1,77, el cual comprueba que el relleno sigue cumpliendo con los parámetros de estabilidad.



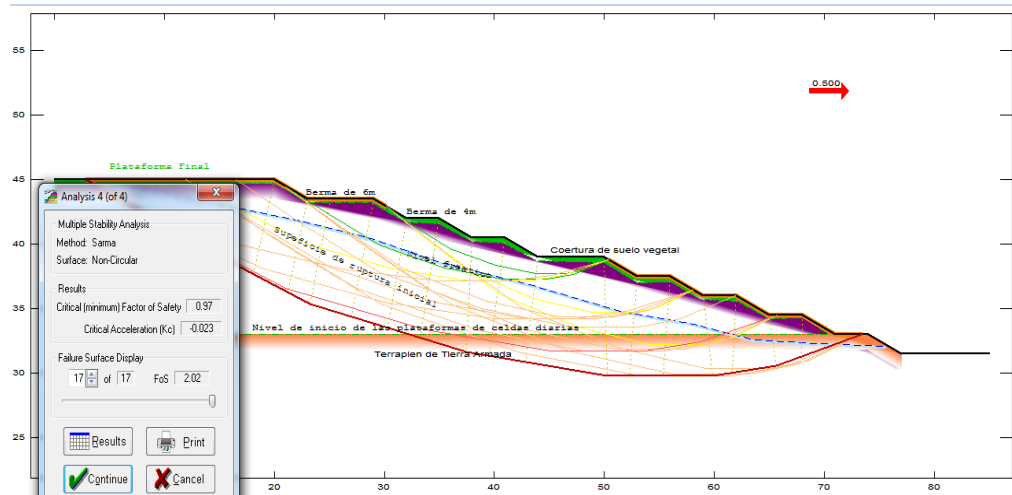
**Figura 9.13:** Corrida 2 Análisis considerando sismicidad  
 aceleración sísmica de 0,20g

En la corrida 3, con una aceleración sísmica de 0,40g, se obtuvo un factor de seguridad de 1,14; demostrando que el relleno sigue siendo estable.



**Figura 9.14:** Corrida 3 Análisis considerando sismicidad  
 aceleración sísmica de 0,40g

La corrida 4 con una aceleración sísmica de 0,50g, da como resultado un factor de seguridad de 0,97; esto demuestra que el relleno es inestable.



**Figura 9.15:** Corrida 4 Análisis considerando sismicidad  
aceleración sísmica de 0,50g

Considerando los diferentes parámetros establecidos en el análisis de estabilidad, se expresa que, con una aceleración menor a 0,40 g se garantiza la estabilidad de la obra sanitaria, donde el factor de seguridad será mayor a 1,14.

# **CAPITULO X**

## **10. ESTUDIO AMBIENTAL APLICADO AL PROYECTO**

### **10.1 Antecedentes**

El estudio ambiental del proyecto que se va a realizar, es para evaluar las fases que conlleva la construcción del Relleno sanitario para el cantón Babahoyo y así poder garantizar la preservación del medio ambiente.

Los objetivos de este estudio son identificar y mitigar los efectos negativos que pueden ser producidos durante las diferentes fases del proyecto, en los recursos naturales (agua, aire y suelo) y en la población flora y fauna. Las acciones para prevenir, controlar y atenuar los posibles impactos ambientales, serán establecidas en el plan de manejo ambiental.

### **10.2 Marco Legal**

Para realizar el estudio de impacto ambiental aplicado al diseño del nuevo relleno sanitario en el cantón Babahoyo, es necesario conocer las leyes y normativas a las que se debe regir el proyecto. A continuación, se presenta las normativas vigentes en el Ecuador.

### 10.2.1 Constitución de la República del Ecuador

La Constitución Política del Estado enumera y a la vez describe los derechos y garantías que el país tiene en materia ambiental y temas relacionados, del cual se presentan los artículos más relevantes:

- Título I: De los Principios fundamentales. En el numeral 7 del Artículo 3, se menciona que es un deber patrimonial defender el patrimonio natural y cultural del país.
- Título II: Capítulo 2: De los Derechos del Buen vivir. Artículo 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, *sumakkawsay*.
- Título II: Capítulo 6: De los Derechos de Libertad. En el numeral 27 del Artículo 66, el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

### 10.2.2 Ley de Gestión Ambiental

La ley de Gestión Ambiental establece los principios y directrices de política ambiental del Estado Ecuatoriano y determina las acciones que se deben ejecutar en cuestiones ambiente en general (Artículo 1).

Además la ley establece la existencia de obligaciones que se deben cumplir en la gestión de los proyectos; la legislación analizada establecerá las funciones de Autoridad Ambiental al Ministerio del Ramo, que actuará como coordinador y regulador del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, esto sin prejuicios de las atribuciones que dentro del ámbito de sus competencias y conforme a la ley lo regulan.

La misma Ley establece por primera vez en la legislación nacional, principios ejecutables de información y vigilancia ambiental, aplicando mecanismos de participación social para lograr un adecuado control de la contaminación ambiental y protección del ecosistema. A continuación, se presentan los artículos más relevantes sobre temas ambientales:

Art. 19. Las obras públicas privadas o mixtas y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, serán calificados previamente a su ejecución, por los organismos descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio.

Art. 20. Para el inicio de toda actividad que suponga riesgo ambiental se deberá contar con la licencia respectiva, otorgada por el Ministerio del ramo.



Art. 21. Los Sistemas de manejo ambiental incluirán estudios de línea base; evaluación del impacto ambiental; evaluación de riesgos; planes de manejo; planes de manejo de riesgo; sistemas de monitoreo; planes de contingencia y mitigación; auditorías ambientales y planes de abandono. Una vez cumplidos estos requisitos y de conformidad con la calificación de los mismos.

Art. 22. Los sistemas de manejo ambiental en los contratos que requieran estudios de impacto ambiental y en las actividades para las que se hubiere otorgado licencia ambiental, podrán ser evaluados en cualquier momento, a solicitud del Ministerio del ramo o de las personas afectadas.

La evaluación del cumplimiento de los planes de manejo ambiental aprobados se le realizará mediante la auditoría ambiental, practicada por consultores previamente calificados por el Ministerio del ramo, a fin de establecer los correctivos que deban hacerse.

Art. 23. La evaluación del impacto ambiental comprenderá:

- a) La estimación de los efectos causados a la población humana, ¿la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada;

- b) Las condiciones de tranquilidad públicas, tales como: ruido, vibraciones, olores, emisiones luminosas, cambios térmicos y cualquier otro perjuicio ambiental derivado de su ejecución; y,
- c) La incidencia que el proyecto, obra o actividad tendrá en los elementos que componen el patrimonio histórico, escénico y cultural.

Art. 25. La Contraloría General del Estado, podrá en cualquier momento, auditar los procedimientos de realización y aprobación de los estudios y evaluaciones de impacto ambiental, determinando la validez y eficacia de éstos, de acuerdo con la Ley y su Reglamento Especial. También lo hará respecto de la eficiencia, efectividad y economía de los planes de prevención, control y mitigación de impactos negativos de los proyectos, obras o actividades. Igualmente podrá contratar a personas naturales o jurídicas privadas para realizar los procesos de auditoría de estudios de impacto ambiental.

Art. 26. En las contrataciones que, conforme a esta Ley deban contar con estudios de impacto ambiental los documentos precontractuales contendrán las especificaciones, parámetros, variables y características de esos estudios y establecerán la obligación de los contratistas de prevenir o mitigar los impactos ambientales. Cuando se trate de concesiones, el contrato incluirá la

correspondiente evaluación ambiental que establezca las condiciones ambientales existentes, los mecanismos para, de ser el.

Art. 27. La Contraloría General del Estado vigilará el cumplimiento de los sistemas de control aplicados a través de los reglamentos, métodos e instructivos impartidos por las distintas instituciones del Estado, para hacer efectiva la auditoría ambiental. De existir indicios de responsabilidad se procederá de acuerdo a la ley.

Art. 28. Toda persona natural o jurídica tiene derecho a participar en la gestión ambiental, a través de los mecanismos que para el efecto se establezcan.

Art. 29. Toda persona natural y jurídica tiene derecho a ser informada oportuna y suficientemente sobre cualquier actividad que pueda producir impactos ambientales. Para ello podrá formular peticiones y deducir acciones de carácter individual o colectivo ante las autoridades competentes.

Art. 39. Las instituciones encargadas de la administración de los recursos naturales, control de la contaminación ambiental y protección del medio ambiente, establecerán con Participación Social sistemas de monitoreo.

Art. 40. Toda persona natural o jurídica, que, en el curso de sus actividades empresariales o industriales estableciere que las mismas puedan producir o están produciendo daños ambientales está obligada a informar de ello al Ministerio del Ramo o a la entidad competente, para que sea ésta la que tome las medidas correspondientes a solucionar los problemas detectados.

Art. 41. Se concede el derecho a las personas naturales o jurídicas para denunciar la violación de normas de medio ambiente, sin perjuicios de la acción de amparo constitucional.

Art. 42. Toda persona natural y jurídica o grupo humano, podrá ser oída en los procesos penales, civiles previa fianza de calumnia que se inicie por infracción de carácter ambiental, aunque no hayan sido vulnerados sus propios derechos. La Ley establece instrumentos de aplicación de las normas ambientales, entre los cuales se identifican los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones (que incluye a los monitoreos ambientales) y evaluaciones de impacto ambiental (Arts. 33 y 34).

### 10.2.3 Ley Orgánica de Régimen Municipal

De acuerdo a la Autonomía Municipal que le atribuye la Ley Orgánica de Régimen Municipal en los Artículos 11, 14, numeral (16), 16, 143 y 149, se establecen funciones, responsabilidades y competencias con plena

autonomía para proteger el medio físico cantonal, prevenir y controlar el deterioro de los recursos hídricos y regular las actividades productivas y de servicios que puedan afectar los sistemas ambientales para uso público.

La Ley Orgánica de Régimen Municipal, en los Arts. 16, 264, 265 y 267, establece plena autonomía y competencia a los Gobiernos Municipales para autorizar y conceder el uso de actividades productivas, agrícolas, de servicios, industriales y la explotación de materiales, canteras, en los ríos, lagos y lechos de las fuentes de agua, y prohibir acciones que constituyen un riesgo ambiental y que atenten contra la población y los principios de conservación, desarrollo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

#### 10.2.4 Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

La Ley contiene prohibiciones para las descargas directas de contaminantes al aire, agua y suelo, generados por las diferentes actividades que se realizan al ejecutar un proyecto; los responsables de estas acciones están obligados a implementar tratamientos previos a las descargas (Arts. 1, 6, 10 y 11).

#### 10.2.5 Reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Libro VI, Título I del Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA)

Art. 25. Del registro del promotor, Previamente a registrar cualquier proyecto, obra o actividad, el promotor deberá contar con un nombre de usuario y contraseña que le asignará el sistema SUIA, para lo cual deberá cumplir con todo el proceso de registro, en la página WEB del Ministerio del Ambiente. Una vez culminado el proceso de registro el sistema SUIA notificará al proponente en su dirección de correo electrónico si el proceso fue exitoso, y le asignará un nombre de usuario y contraseña. El proponente deberá registrarse en el SUIA por una sola vez, independientemente de los proyectos, obras o actividades que presente en el futuro.

Art. 26. Del registro del proyecto, obra o actividad. Todos los proyectos, obras o actividades, que generen impactos y riesgos ambientales, deberán regularizarse mediante el SUIA.

Art. 28. Del certificado de intersección. El certificado de intersección, es un documento electrónico, generado por el SUIA, a partir de coordenadas UTM datum: WGS84, 17S, en el que se indica que el proyecto, obra o actividad propuesto por el promotor interseca o no, con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Bosques y Vegetación Protectora, Patrimonio Forestal del Estado, Zona Intangible Cuyabeno Imuya, Núcleo del Parque Nacional

Yasuní y Zona de Amortiguamiento Núcleo Parque Nacional Yasuní y otras de alta prioridad. El certificado de intersección es un documento necesario y obligatorio para continuar con el proceso de registro de un proyecto, obra o actividad: sin la obtención del mismo, no se podrá continuar con el proceso de regularización ambiental.

Art. 39. De la categoría II (licencia ambiental categoría II). Dentro de ésta categoría se encuentran catalogados los proyectos, obras o actividades cuyos impactos ambientales y/o riesgo ambiental, son considerados de bajo impacto. Todos los proyectos, obras o actividades catalogados dentro de ésta categoría, deberán regularizarse ambientalmente a través de la obtención de una licencia ambiental, que será otorgada por la autoridad ambiental competente, mediante el SUIA.

Art. 44. De los objetivos de la ficha ambiental. Este documento técnico permite describir de manera general, el marco legal aplicable y las principales actividades de los proyectos, que según la categorización ambiental nacional, son consideradas de bajo impacto; además en este se describe el efecto de las labores en los medios físicos, bióticos y socioeconómicos, y propone medidas para mitigar los posibles impactos ambientales a través de un plan de manejo ambiental.

#### 10.2.6 Ley Orgánica de Salud

Este documento señala en los Art. 95 y 96 respectivamente lo siguiente: “La autoridad sanitaria nacional en coordinación con el Ministerio de Ambiente, establecerá las normas básicas para la preservación del ambiente en materias relacionadas con la salud humana, las mismas que serán de cumplimiento obligatorio para todas las personas naturales, entidades públicas, privadas y comunitarias” y “Toda persona natural o jurídica tiene la obligación de proteger los acuíferos, las frentes y cuencas hidrográficas que sirvan para el abastecimiento de agua para consumo humano. Se prohíbe realizar actividades de cualquier tipo, que pongan en riesgo de contaminación las fuentes de captación de agua”.

#### 10.2.7 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional 2393 del Ministerio del Trabajo

Art. 1. **Ámbito de Aplicación.** Las disposiciones del presente Reglamento se aplicarán a toda actividad laboral y en todo centro de trabajo, teniendo como objetivos la prevención, disminución o eliminación de los riesgos que pueden presentarse en el trabajo.



### 10.3 Línea base

El área a elegir se encuentra contigua al antiguo botadero ubicado en la vía a Babahoyo – Montalvo, está rodeado de pastizales, yerba mala o *Chenopodium album*, y no existe fauna que pueda ser afectada por el desarrollo del proyecto en el predio.



**Figura 10.1:** Ubicación del Relleno a construirse

**Fuente:** Google Earth

El lugar cuenta con una topografía regular, con 0% de pendiente. Con respecto al drenaje, se conoce que en época invernal el terreno se ve afectado por inundaciones debido a la elevación del nivel del curso de agua del río San Pablo, situado a una distancia considerable del proyecto.

La ciudad de Babahoyo cuenta con un clima Tropical Húmedo y Seco (Producto de la Sabana), del cual durante la estación húmeda presente en los meses de diciembre a mayo, se aprecia un incremento de la precipitación con respecto a la estación seca.

Acorde al estudio de suelos realizado en el Capítulo 4, en el lugar donde se va a construir el relleno sanitario existen suelos sedimentarios, producto de un antiguo relleno hidráulico y en base a estudios de suelos realizados por el municipio de Babahoyo se conoce que la parte superficial del suelo está compuesto por suelos arcillosos con una mezcla de arena limosa, esto lo convierte en un material semipermeable a permeable.



**Figura 10.2:** Área del proyecto.  
**Fuente:** Autoras

Otro aspecto relevante, es la cercanía del antiguo botadero de basura al actual relleno, además de que la obra se encuentra en las afueras de la ciudad, es decir que no afecta a la población en un radio de no más de 3500 m.

#### **10.4 Determinación de Impacto Ambiental del Proyecto**

En la construcción del nuevo Relleno Sanitario de Babahoyo, se llevarán a cabo diferentes actividades que afectarán a los recursos agua, aire y suelo; algunos de los impactos negativos son los siguientes: eliminación de la vegetación previo a la construcción de la obra de saneamiento, generación de ruido y polvo, y contaminación del suelo producto del proceso constructivo, donde se producen desechos sólidos y líquidos.

Con respecto a los impactos positivos que genera el proyecto, el principal es la construcción del primer Relleno Sanitario que beneficia al cantón y a la vez la generación de empleo para los habitantes de la ciudad.

##### **10.4.1 Medidas de mitigación**

Debido a que el predio es afectado por avenidas en el periodo invernal, se realizara la construcción de un terraplén para elevar el nivel del terreno, donde luego se ubicara el relleno; con esta medida, la obra no se verá afectada por este fenómeno natural.

Para los lixiviados producidos por los desechos sólidos, estos serán conducidos a través de sistemas de drenes al tanque de lixiviados, el cual se construirá con diques de borde y una cubierta para evitar el ingreso de las aguas aluviales.

Se evitará afectaciones a los habitantes que estén localizados próximos a la obra en mención, mediante capacitaciones para tener informado a la población del caso y al mismo tiempo se cuidará que no se generen tantos desechos de construcción para que esto no afecte a la flora y fauna situado en los alrededores del relleno.

### **10.5 Valoración de impacto ambiental (VIA)**

Los componentes ambientales son aquellos que, en el entorno natural, humano o socioeconómico, pueden estar afectados por las actividades que son realizadas durante la fase de construcción, operación y culminación de la vida útil del proyecto.

Dichas fases serán analizadas, usando las matrices de Leopold; de estas se determinará las actividades que tiene mayor repercusión en la construcción de la obra de saneamiento. Las matrices de Leopold de las diferentes fases, se encuentran en el anexo 4.

Para cada fase se establecieron las actividades principales que son realizadas en los procesos y la valoración de los impactos generados por estas; en el cálculo, se obtendrá las actividades que generan mayor impacto y los recursos afectados por estas labores. Con los análisis mencionados, se generará un plan de manejo ambiental que pueda mitigar dichos impactos.

#### 10.5.1 Plan de Manejo ambiental

Se realizará un plan de manejo ambiental acorde a las actividades que generan mayor impacto en las diferentes etapas del proyecto, con el fin de remediar los posibles efectos negativos en los recursos naturales.

##### 10.5.1.1 Fase de Construcción

En base a los valores obtenidos de la Matriz de Valoración de Impacto Ambiental para la fase de construcción del Relleno Sanitario de Babahoyo, se obtuvieron las actividades que generan un mayor impacto al medio ambiente, también se detallan los procesos de mitigación para cada una de ellas con la finalidad de contrarrestar los posibles impactos potenciales.

Siendo la actividad con mayor impacto:

Movimiento de tierras

Y los recursos mayormente afectados correspondientes a dichas actividades:

- Suelo
- Agua

#### 10.5.1.1.1 Movimiento de Tierras

El movimiento de tierras realizado para llevar a cabo la obra requiere de maquinarias pesadas, para los procesos de excavación, carga, acarreo, descarga, para lo cual genera polvo, ruido y derrame de combustible en el suelo, generando escombros y una gran cantidad de desechos sólidos.

Para mitigar el impacto que produce dicha actividad se propone las siguientes medidas preventivas y de mitigación:

- Utilizar maquinarias, equipos y herramientas en excelentes condiciones físicas, mecánicas y eléctricas,
- El personal deberá contar con equipos de seguridad adecuados para tal actividad,
- Delimitar las zonas críticas donde se realizará tal actividad
- Se deberá ir humedeciendo las áreas abiertas y secas donde se va a realizar el movimiento de tierras, para mitigar los efectos que producen tal actividad.

Y para mitigar los efectos negativos que afectan los recursos naturales (agua y suelo) se realizarán unas medidas preventivas como un monitoreo del control de aguas residuales producidas por la actividad para determinar donde serán depositadas y una reforestación para contrarrestar dicha actividad y preservar el ecosistema del sector.

#### 10.5.1.2 Fase de Operación

Así como para la fase de construcción se determinó la actividad con mayor impacto y los recursos con mayor afectación:

Actividades con mayor impacto:

- Disposición de residuos orgánicos, inorgánicos y peligrosos
- Limpieza de lixiviados

Recursos mayormente afectados:

- Suelo
- Agua

#### 10.5.1.2.1 Disposición de residuos orgánicos, inorgánicos y peligrosos

La disposición final de los residuos sólidos es una actividad que crea un impacto ambiental negativo, debido a que conlleva riesgos directos a los pobladores de la ciudad, riesgos indirectos como la proliferación de animales y riesgos al medio ambiente; por ello se proponen las siguientes medidas de prevención y mitigación:

- Mantener un registro de los desechos recibidos y de los controles implementados para su disposición final en las celdas correspondientes.
- Colocar depósitos para la recolección de los desechos generados por el personal en la permanencia de la obra, con la finalidad de recuperar los residuos y que tengan una disposición generada.
- Se deberá implementar un plan de reciclaje para que puedan ser reutilizados los desechos inorgánicos y a la vez los orgánicos (compost)

Gracias a estas medidas preventivas se mitigan los impactos que afectan a los recursos del agua y suelo.



#### 10.5.1.2.2 Limpieza de piscinas de lixiviados

Para prevenir que exista afectaciones tanto en el recurso agua, aire y suelo, se propone la siguiente medida de mitigación:

- Realizar un tratamiento de los lixiviados previo a su descarga final para contrarrestar una posible contaminación al efluente más cercano.

#### 10.5.1.3 Fase de Desmontaje

Para esta fase se determinó que la siguiente actividad, causa mayor impacto:

- Abandono y clausura del proyecto

Que tendrá una afectación en los siguientes recursos:

- Suelo
- Agua

##### 10.5.1.3.1 Abandono y clausura del proyecto

Una vez concluida el tiempo de vida útil del Relleno Sanitario, es importante que las autoridades puedan decidir si se debe clausurar el relleno o si se debe repotenciar tal, con la finalidad que pueda ser aprovechado el terreno para futuras obras.

Repotenciar como medida de mitigación significaría aumentar el área del terreno para que este pueda ser aprovechado en su máximo potencial, aplicando nuevos métodos de estabilización, de implementación de nuevas tecnologías, entre otros.

### **10.6 Plan de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial**

Se deberá contar con un área de centro de salud en todas las tres fases (construcción, operación y culminación) en base a las normativas ecuatorianas. Y se deberá contar con las siguientes medidas ambientales:

- Elaboración de un programa de salud ocupacional que asegure a los trabajadores en caso de accidentes potencialmente riesgosos para la salud.
- Capacitar al personal en charlas sobre la seguridad industrial
- Señalización en el área de la obra como medida de prevención de accidentes y protección del medio ambiente.
- Capacitación al personal sobre la utilización de equipos de protección personal.
- Socializar a la población sobre los efectos tanto negativos como positivos que se realicen en la construcción del Relleno.

## **10.7 Plan de Contingencia**

Para llevar a cabo el plan de contingencia es necesario de la colaboración de los gobiernos cantonales y provinciales, por si se presente una emergencia en cualquiera de las tres fases del proyecto “Relleno Sanitario de Babahoyo”; a continuación, se presentan las posibles situaciones que pueden presentarse en el desarrollo de este proyecto:

### *Accidentes laborales*

Estos pueden ser ocasionados ya sea por deficiencias humanas o fallas mecánicas en el empleo de algún equipo o maquinaria pesada por lo cual se deberá inspeccionar los materiales y equipos de la obra, para así evitar que estos generen un riesgo para la salud de los trabajadores.

Se deberá verificar los equipos de protección personal, que estos sean utilizados durante la obra, así como los equipos de seguridad como los extintores, el botiquín de primeros auxilios.

### *Colapso de las piscinas de recolección de lixiviados*

En caso de producirse una contingencia producto del deterioro de la infraestructura o de una excesiva producción de lixiviados es necesario que

todo el personal tanto administrativo como técnico reporte cualquier anomalía que pueda existir en las piscinas.

A la vez se deberá contar con una bomba extra para el bombeo rápido del lixiviado hacia la celda, y si estos no ingresan a las piscinas se deberá realizar diques o fosas para que estos no sean descargados en el acuífero más cercano.

### Incendios

Pueden ser ocasionados por el hombre o por maquinarias, del cual una medida de contingencia es el de ubicar los equipos para este tipo de emergencia en puntos estratégicos y de fácil acceso, al mismo tiempo se deberá prohibir el de fumar, tanto en la obra como áreas donde existan productos inflamables.

### Sismos

Ante la ocurrencia de este fenómeno natural se deberá capacitar a los trabajadores sobre los puntos de encuentro y de cómo se debe actuar ante esta situación.

Así como se deberá inspeccionar la obra después de que haya ocurrido este fenómeno natural para su respectiva evaluación y comprobación de que sigue siendo segura para los empleados, caso contrario deberá intervenir la Secretaria de Riesgos para evaluar la construcción.

### Inundaciones

Frente a la eventualidad de este fenómeno y si este se presenta fuerte cuando se está construyendo, se deberá verificar el buen funcionamiento del sistema de drenajes y si es necesario se realizarán las respectivas reparaciones si estos están averiados.

## **10.8 Presupuesto de Costo de Obra**

Acorde al presupuesto general del estado 29'835.098.320,79 dólares americanos y al presupuesto que el gobierno entrega a las municipalidades, en el caso del Municipio de Babahoyo que es de 25 millones de dólares, se presenta un presupuesto referencial con la finalidad de demostrar la viabilidad del diseño y a la vez del proyecto.

De este se muestran valores aproximados del costo de construcción y operación; no se considera los costos de estudio y diseño, así como de gastos legales y financiamiento. A continuación, se indica el presupuesto

referencial para la alternativa elegida y en el anexo 5, se muestra más detallado el presupuesto general de la obra de saneamiento



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA**  
**TIERRA**



**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE GRADO:**

*"Diseño del Nuevo Relleno Sanitario de Babahoyo,  
vinculado al control de inundaciones"*

*PRESUPUESTO INICIAL*

**ALTERNATIVA #3**

| ITEM            | DESCRIPCION  | PRECIO TOTAL USD       |
|-----------------|--|------------------------|
| <b>1</b>        | <b>Construcción</b>                                  |                        |
| <b>1,1</b>      | <b>Movimiento de Tierras</b>                         | <b>\$ 176.066,08</b>   |
| <b>1,2</b>      | <b>Pantallas Drenantes</b>                           | <b>\$ 280.707,00</b>   |
| <b>1,3</b>      | <b>Canal de Aguas Lluvias</b>                        | <b>\$ 25.833,21</b>    |
| <b>1,4</b>      | <b>Celdas para disposición de residuos</b>           | <b>\$ 377.748,38</b>   |
| <b>1,5</b>      | <b>Manejo de Lixiviados</b>                          | <b>\$ 67.609,94</b>    |
| <b>1,6</b>      | <b>Manejo de Gases</b>                               | <b>\$ 45.549,05</b>    |
| <b>1,7</b>      | <b>Plan de Manejo Ambiental</b>                      | <b>\$ 65.625,72</b>    |
| <b>2</b>        | <b>Operación</b>                                     |                        |
| <b>2,1</b>      | <b>Movimiento de residuos sólidos hacia la celda</b> | <b>\$ 635.430,62</b>   |
| <b>3</b>        | <b>Equipos complementarios</b>                       | <b>\$ 26.619,902</b>   |
| <b>SUBTOTAL</b> |  | <b>\$ 1.701.189,90</b> |

El presupuesto referencial que tendrá la alternativa 3 es de 1'701.189,90. Este valor, se encuentra dentro de los estándares establecidos por el Municipio de Babahoyo, contando con todos los implementos necesarios para que tal proyecto se convierta en una construcción sostenible en beneficio de la ciudad y la provincia de Los Ríos.



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

1. Se presentó alternativas de lugares donde ubicar el nuevo relleno sanitario para el cantón Babahoyo, las cuales fueron analizadas con la finalidad de conocer la opción más adecuada, para desarrollar la construcción de la obra de saneamiento.
2. Se consideraron los aspectos éticos, morales y sociales que conlleva la construcción de un relleno sanitario con la finalidad de que estos no puedan ser afectados tanto directamente como indirectamente a la población más cercana.
3. Del estudio, basado en la ubicación del terreno y las observaciones ambientales de la construcción del relleno en estos, se determinó que la alternativa 3: Ubicación del Relleno Sanitario en el área contigua al antiguo botadero de basura del cantón; es la más apropiada.
4. Para elevar el nivel del terreno elegido, a fin de llevar a cabo este proyecto y así evitar la afectación de las avenidas sobre este en época invernal, se propuso la construcción de un terraplén compuesto de

material de azolve dragado del río Babahoyo; al realizar estas actividades, se vinculó la obra sanitaria al control de inundaciones para el cantón.

5. Se definió las celdas diarias para los años proyectados en este trabajo, los parámetros que rigen esta unidad básica, se establecieron con el fin de confinar los desechos sólidos que llegan a diario al relleno sanitario.
6. En el diseño del relleno sanitario propuesto en este trabajo, se planteó un sistema de drenaje para los líquidos lixiviados, integrado por un dren principal y varios drenes secundarios; y un sistema de drenaje de gases, formado por un grupo de chimeneas.
7. Por medio del análisis de estabilidad, se determinó que, el talud general del relleno sanitario es estable y que cumple con los estándares establecidos del factor de seguridad mayor a uno.
8. En base al estudio de impacto ambiental se realizó un plan de manejo ambiental para mitigar los posibles efectos causados por el proyecto, en este se plantearon acciones amigables con el ecosistema.
9. Se determinó un presupuesto referencial que está acorde al presupuesto que el gobierno entrega al municipio de Babahoyo, y gracias a ello se puede concluir que la construcción es sostenible en beneficio para la ciudad y la Provincia de Los Ríos.

## Recomendaciones

1. Se recomienda adoptar taludes tendidos en la construcción de las celdas diarias, ya que, estas unidades están compuestas por residuos sólidos, material poco resistente.
2. Al usar la geomembrana, se recomienda dejar un borde suficiente para soldarla, el borde debería ser de por lo menos 0,15 m y las soldaduras serán realizadas por un experto.
3. Se sugiere realizar el dragado de los Ríos Babahoyo y San Pablo con la finalidad de llevar a cabo un control de inundaciones, tanto en el sector donde se va a construir el relleno sanitario, así como, en los diferentes sectores afectados por el desbordamiento de los ríos.
4. Es recomendable realizar un plan de reciclaje, así como, concientizar a la población sobre esta actividad para beneficio de ellos y del medio ambiente.
5. Una vez concluido el tiempo de vida útil del proyecto, se recomienda realizar nuevos estudios, para una posible ampliación del Relleno y así reducir el costo de construcción del proyecto.

# BIBLIOGRAFIA

- [1] Armijos Verdezoto, Iván Rodrigo. (2015). *Estudio para el Aprovechamiento Óptimo de los Depósitos Aluviales Considerados en el Proceso de Obtención de Libres Aprovechamientos de Materiales de Construcción, de la Prefectura de Los Ríos*. Guayaquil: ESPOL.
- [2] Asamblea Nacional. (2015). *Presupuesto General del Estado para el año 2016*. Quito: Asamblea Nacional.
- [3] Ayininuola, G.M.; Muibi, M.A. (2008). *An engineering approach to solid waste collection system: Ibadan North as case study*. *Waste Management*. 28(9), 1681-1687.
- [4] Barradas, Alejandro. (2009). *Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales*. (Tesis doctoral). Instituto Tecnológico de Minatitlán. Minatitlán.
- [5] Batolomé Pacheco; Rómulo Gómez. (2001). *Diseño y estabilidad de taludes de la celda específica final para desechos tóxicos en el relleno sanitario La Bonanza Charallave. Cdo. Miranda*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- [6] Boroshilov Castro. (2000). *Manual para el manejo de los residuos sólidos en medianos y pequeños municipios*. Quito.

- [7] Chávez A., M.A. (2015). *Incidencia del agua en los procesos de inestabilidad de taludes y laderas en el centro y norte de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- [8] EARTHGREEN. (2012). *Plan General de Cierre. Botadero de Basura. Municipio de Babahoyo, Documento PC001*. Babahoyo.
- [9] ESP, E. P. (2009). *Estudio de Impacto Ambiental: Construcción y Operación de Segunda Fase del Relleno Sanitario*. Andes: EE.PP.A.
- [10] GAD de Babahoyo (2015). *Estudio Geológico y Geotécnico del sector sur de Babahoyo*. Babahoyo.
- [11] GADM de Babahoyo. (2009). *Control de Inundaciones para el Desarrollo Urbano de la Ciudad de Babahoyo*. Babahoyo.
- [12] GEOSOLUCIONES. (2014). *Ficha técnica geomembranas*. Geosoluciones.
- [13] Hidalgo Ulloa, Erik Marcelo. (2012). *Disposición final de los desechos sólidos producidos en el cantón Archidona y su incidencia para mejorar la calidad de vida de sus habitantes durante el año 2012 (Tesis)*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil. Ambato-Ecuador. pp 54-73.
- [14] INEN. (2006). *Bambú Caña Guadua: Especificaciones técnicas*. Quito: INEN

- [15] INEN. (2014). INEN – ISO 13437: *Geotextiles y productos relacionados con geotextiles*. Quito: INEN.
- [16] Jaén, W. (2016). Use and Abuse of the Guayas River Basin. IAHR-ESPOL (pág. 4). Guayaquil: IAHR – ESPOL.
- [17] Moreno P., L. A. (2013). *Metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos*. Concepción: Universidad del Bío Bío.
- [18] OMS. (15 de Noviembre de 2014). Organización mundial de la salud. Recuperado el 21 de Diciembre de 2014, de Agua, saneamiento y salud (ASS): [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/wsh0207/es/index1.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsh0207/es/index1.html).
- [19] Palma, J. (2005). *Análisis de la estabilidad de rellenos sanitarios*. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológicas (CONICYT), 1-2.
- [20] PAVCO, G. (2014). *Geotextiles: Tejidos y no Tejidos*. México DF: MEXICHEM.
- [21] Philippe, F.; Culot, M. (2009). *Household solid waste generation and characteristics in Cape Haitian city, Republic of Haiti*. *Resources, Conservation and Recycling*. 54(2), 73-7

- [22] República del Ecuador. (2003). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua - Libro VI Anexo 1. Quito.
- [23] Ramos, L. R. (2015). Eco diseño de un centro de acopio y análisis de operación en una planta de almacenamiento secundario de desechos sólidos en el Cantón Babahoyo, Provincia de Los Ríos. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- [24] Taboada, Paúl., Aguilar, Quetzalli y Ojeda, Sara. (2011). *Análisis estadístico de residuos sólidos domésticos en un municipio fronterizo de México*. Avances en Ciencias e Ingeniería: 2(1), 9-20.
- [25] Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; y Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Madrid: McGraw-Hill.
- [26] Tucci, C. E. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Buenos Aires.
- [27] Viteri Romero, Jairo Patricio. (2016). Diseño de una celda diaria de confinamiento de residuos sólidos para el actual relleno sanitario del Tena (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Carrera de Ingeniero en Biotecnología Ambiental. Riobamba-Ecuador. pp 36-46.
- [28] Zepeda, Francisco. (1995). *El Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe*. Washington, D.C., Organización Panamericana de la Salud.

# ANEXO 1

PLANOS TOPOGRÁFICOS DE LOS  
CANTONES BABAHOYO, MONTALVO Y  
SIMÓN BOLÍVAR.



# ANEXO 2

REGISTROS DE LA ESTACIÓN  
METEOROLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE BABAHOYO.

# ANEXO 3

PERFILES TRANSVERSALES DEL RÍO  
BABAHOYO DESDE LA COTA 0+200  
HASTA LA COTA 4+000.

# ANEXO 4

MATRICES DE LEOPOL

# ANEXO 5

PRESUPUESTOS