



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**Análisis hidráulico sobre la implementación de una  
estructura de regulación del ramal B del estero Salado de  
Guayaquil para la reducción de los riesgos de inundación en  
su cuenca de drenaje**

**AUTOR:**

**Saltos Barzola Jorge Andrés**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**

**INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Plaza Vera Fernando Javier, PhD**

**Guayaquil, Ecuador**

**11 de marzo del 2022**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Salto Barzola, Jorge Andrés**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Plaza Vera, Fernando Javier, PhD**

**DIRECTORA DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany, M. Sc**

**Guayaquil, a los 11 del mes de marzo del año 2022**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Saltos Barzola Jorge Andrés**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Análisis hidráulico sobre la implementación de una estructura de regulación del ramal B del estero Salado de Guayaquil para la reducción de los riesgos de inundación en su cuenca de drenaje**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 11 del mes de marzo del año 2022**

### **EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**Saltos Barzola, Jorge Andrés**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Salto Barzola Jorge Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis hidráulico sobre la implementación de una estructura de regulación del ramal B del estero Salado de Guayaquil para la reducción de los riesgos de inundación en su cuenca de drenaje**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 11 días del mes de marzo del año 2022**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**Salto Barzola, Jorge Andrés**

**REPORTE URKUND**

## Document Information

---

|                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| <b>Analyzed document</b> | Saltos_Jorge_FINAL.pdf (D129355079) |
| <b>Submitted</b>         | 2022-03-03T19:37:00.0000000         |
| <b>Submitted by</b>      | Clara Glas                          |
| <b>Submitter email</b>   | claglas@hotmail.com                 |
| <b>Similarity</b>        | 7%                                  |
| <b>Analysis address</b>  | clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com |

## Sources included in the report

---

|          |  |
|----------|--|
| <b>W</b> | URL: <a href="http://website.dot.ca.gov/hq/construc/estdet/07-1XK304-026.txt">http://website.dot.ca.gov/hq/construc/estdet/07-1XK304-026.txt</a><br>Fetched: 2022-03-03T19:39:09.6030000 |
|----------|--|

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por permitirme terminar otra etapa de mi vida, agradecerle por ayudarme a superar todos los obstáculos y dificultades que tuve en la universidad.

Agradecerles a mis padres Cutty y Jorge, a mis hermanos Guido y Carlos, a mis abuelos Mercedes, Marina, Eduardo y Guido, a todos mis tíos y primos, por siempre preguntarme como me iba y siempre apoyarme en todo momento, nunca poder terminar de agradecerles por todos sus sacrificios y enseñanzas a lo largo de mi vida.

A mis ahora más que compañeros y amigos de la universidad, a quienes se convirtieron en mi familia en estos 6 años de carrera universitaria: Alina, Naomi, Ariana, Daniela, Alejandro, Cindy, Gabriel, entre otros, que no me alcanzaría una hoja para nombrarlos, que, aunque no nos graduamos al mismo tiempo, siempre estuvimos los unos para los otros ya sea riendo, festejando, estudiando, llorando, etc. Llevaré siempre en mi mente y corazón todo lo que vivimos en la universidad, y espero seguir juntos en nuestra vida profesional.

A todos los ingenieros, personal administrativo, de limpieza, etc. de la UCSG que siempre tuvieron la buena disposición de ayudarme en mi paso de la carrera por la facultad, muchas gracias por sus conocimientos.

A mis amigos del colegio: Sahar, Sheyla, Daniela, Fernando y Claudia que, aunque no hablábamos todos los días, se preocupaban de cómo iba en el proceso de la tesis y de mi carrera, ya son más de 10 años de amistad y por eso sé que estas amistades serán eternas.

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación y mi título está dedicado para las personas más importantes de mi vida:

Gracias a mi mamá Cutty por siempre estar para mí, por siempre ser incondicional, por siempre ser tan amorosa conmigo, y ser la mejor madre del mundo, por darme ánimos y que no me sienta triste cuando las cosas no salían como quería.

Gracias a mi papá Jorge por siempre aconsejarme y apoyarme en mis decisiones, por ayudarme en lo que siempre estuvo en su poder, por siempre ser una persona tranquila y que sabía que podía contarle mis problemas y decirme que podía hacer.

Gracias a mis hermanos Guido y Carlos por ser buenos hermanos mayores y cuidarme, aunque nos peleemos la mayor parte del tiempo, sé que siempre podré contar su ayuda cuando más lo necesite.

Gracias a mis tías: Marjorie, Lexy, Sandra y Mercedes por ser mis segundas madres, siempre guiándome por el camino de ser una buena persona con mucho amor.

Dedico este trabajo al cielo donde están: Clara, mi tía que sé que, aunque su partida fue pronta me guía, Mercedes, mi abuelita que siempre me dio los mejores consejos y nunca dejo de creer en mi aun cuando ni yo mismo lo hacía y Eduardo, mi abuelo que nos ayudó a salir adelante desde pequeños.

Por último, dedico este trabajo a mí mismo por haber culminado mi carrera que al inicio no sabría si lo lograría, 6 años después aquí estoy, si se pudo, y no sé qué pase en 6 años, pero sé que también lograre lo que me proponga.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, M. Sc.**

DECANO DE LA FACULTAD

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Alexandra Camacho Monar, M Sc.**

COORDINADOR DE ÁREA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Miguel Cabrera Santos, M Sc.**

OPONENTE

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                      | 2  |
| <b>1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....         | 3  |
| 1.1. Antecedentes.....   | 3  |
| 1.2. Objetivos.....  | 4  |
| 1.2.1. Objetivos Generales.....                                | 4  |
| 1.2.2. Objetivos Específicos .....                             | 4  |
| 1.3. Presentación del Tema.....                                | 5  |
| 1.4. Razones para la Investigación del Tema.....               | 5  |
| 1.5. Justificación del Tema .....                              | 5  |
| 1.6. Alcance.....  | 6  |
| 1.7. Metodología .....   | 6  |
| <b>2. CAPITULO II: INFORMACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> ..... | 7  |
| 2.1. Sistema Estuarino Rio Guayas-Estero Salado .....          | 7  |
| 2.2. Zonificación del Estero Salado .....                      | 8  |
| 2.2.1. Zona 1 .....  | 8  |
| 2.2.2. Zona 2.....   | 8  |
| 2.2.3. Zona 3.....   | 9  |
| Ramal B del Estero Salado.....                                 | 10 |
| <b>3. CAPITULO III: MARCO TEÓRICO</b> .....                    | 13 |
| 3.1. Tipos de Cuerpos de Agua .....                            | 13 |
| 3.1.1. Agua.....   | 13 |
| 3.1.2. Aguas Marinas .....                                     | 13 |
| 3.1.3. Estuario .....  | 13 |
| 3.2. Sistema de Alcantarillado Pluvial.....                    | 13 |
| 3.3. Criterios del Análisis Hidrológico .....                  | 14 |
| 3.3.1. Periodo de Retorno .....                                | 14 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.3.2. | Tiempo de Concentración .....  | 15 |
| 3.3.3. | Coeficiente de Escurrimiento .....   | 15 |
| 3.3.4. | Intensidad de Precipitación .....  | 15 |
| 3.4.   | Programa SWMM (Storm Water Management Model) .....   | 16 |
| 3.4.1. | Modelos Informáticos para Diseño de Aguas Lluvias.....                                     | 16 |
| 3.4.2. | Método Lluvia-Escurrimiento.....   | 16 |
| 3.4.3. | Criterios de la Evaluación Hidráulica.....   | 17 |
| 3.4.4. | SWMM (Storm Water Management Model) .....  | 17 |
| 3.5.   | Equipos de Regulación .....  | 19 |
| 3.5.1. | Compuertas Basculantes .....   | 19 |
| 3.5.2. | Compuertas Deslizantes .....   | 20 |
| 3.5.3. | Presas Inflables.....  | 20 |
| 3.5.4. | Válvulas tipo Check.....   | 21 |
| 3.5.5. | Válvulas tipo Pinch .....  | 21 |
| 4.     | CAPITULO IV: METODOLOGIA .....   | 22 |
| 4.1.   | Planteamiento de Alternativas .....  | 22 |
| 4.1.1. | Equipo de Regulación de Flujos.....  | 23 |
| 4.1.2. | Obra Civil .....   | 23 |
| 4.2.   | Modelación Hidrológica-Hidráulica .....  | 24 |
| 4.3.   | Estudios Hidrológicos (Hietogramas).....   | 25 |
| 4.4.   | Mareas.....  | 26 |
| 4.5.   | Simulaciones Hidrológicas.....   | 27 |
| 4.5.1. | Escenario 1. Simulación Sin Proyecto.....  | 28 |
| 4.5.2. | Escenario 2. Simulación Con Proyecto .....   | 28 |
| 4.6.   | Datos de digitalización para el uso del software SMWW .....                                | 29 |
| 4.7.   | Proceso de modelación del sistema en el software Storm Water Management Model (SMWW) ..... | 30 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.8. Proceso de modelación de los fenómenos hidrológicos en el sistema..... | 32        |
| <b>5. CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>                           | <b>36</b> |
| 5.1. Escenario 1: Simulación Sin Proyecto.....                              | 37        |
| 5.1.1. Periodo de Recurrencia 2 años.....                                   | 37        |
| 5.1.2. Periodo de Recurrencia 5 años.....                                   | 43        |
| 5.1.3. Periodo de Recurrencia 10 años.....                                  | 49        |
| 5.1.4. Periodo de Recurrencia 25 años.....                                  | 55        |
| 5.2. Escenario 2: Simulación Con Proyecto.....                              | 61        |
| 5.2.1. Periodo de Recurrencia 2 años.....                                   | 61        |
| 5.2.2. Periodo de Recurrencia 5 años.....                                   | 67        |
| 5.2.3. Periodo de Recurrencia 10 años.....                                  | 73        |
| 5.2.4. Periodo de Recurrencia 25 años.....                                  | 79        |
| 5.3. Comparación entre Escenarios.....                                      | 85        |
| 5.3.1. Escenario 1.....   | 86        |
| 5.3.2. Escenario 2.....   | 88        |
| 5.3.3. Cálculos de Volumen de Inundación.....                               | 90        |
| <b>6. CAPÍTULO VI: CONCEPCIÓN TÉCNICA DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL.....</b>  | <b>91</b> |
| 6.1. Descripción de la estructura técnica de control.....                   | 91        |
| 6.2. Funcionamiento de la estructura técnica de control.....                | 91        |
| 6.3. Esquemmatización de la estructura técnica de control.....              | 91        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>94</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>95</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>96</b> |

|   |     |
|---|-----|
| <b>ANEXOS</b> .....   | 98  |
| 7.1. Anexo 1. Datos de Marea para la Simulación.....                                      | 98  |
| 7.2. Anexo 2. Tabla de Volúmenes de Inundación para un $T_r = 2$ Años Sin Proyecto .....  | 99  |
| 7.3. Anexo 2. Tabla de Volúmenes de Inundación para un $T_r = 5$ Años Sin Proyecto .....  | 101 |
| 7.4. Anexo 4. Tabla de Volúmenes de Inundación para un $T_r = 10$ Años Sin Proyecto ..... | 104 |
| 7.5. Anexo 5. Tabla de Volúmenes de Inundación para un $T_r = 25$ Años Sin Proyecto ..... | 107 |
| 7.6. Anexo 6. Tabla de Volúmenes de Inundación para un $T_r = 2$ Años Con Proyecto.....   | 110 |
| 7.7. Anexo 7. Tabla de Volúmenes de Inundación para un $T_r = 5$ Años Con Proyecto.....   | 112 |
| 7.8. Anexo 8. Tabla de Volúmenes de Inundación para un $T_r = 10$ Años Con Proyecto.....  | 114 |
| 7.9. Anexo 9. Tabla de Volúmenes de Inundación para un $T_r = 25$ Años Con Proyecto.....  | 117 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Tabla 1. Periodo de retorno del diseño de sistemas de alcantarillado.....</i>                              | <i>14</i> |
| <i>Tabla 2. Modelos para Construcción de Curvas IDF .....</i>   | <i>15</i> |
| <i>Tabla 3. Ecuaciones pluviométricas para diversas frecuencias.....</i>                                      | <i>25</i> |
| <i>Tabla 4. Datos para Simulación del Modelamiento del Sistema Pluvial y Ramal B del Estero Salado.....</i>   | <i>29</i> |
| <i>Tabla 5. Datos Precipitación de 2 horas para <math>Tr = 2</math> años.....</i>                             | <i>33</i> |
| <i>Tabla 6. Datos Precipitación de 2 horas para <math>Tr = 5</math> años.....</i>                             | <i>33</i> |
| <i>Tabla 7. Datos Precipitación de 2 horas para <math>Tr = 10</math>.....</i>                                 | <i>34</i> |
| <i>Tabla 8. Datos Precipitación de 2 horas para <math>Tr = 25</math>.....</i>                                 | <i>34</i> |
| <i>Tabla 9. Resumen de los volúmenes de inundación en los diferentes periodos de recurrencia. ....</i>        | <i>86</i> |
| <i>Tabla 10. Volúmenes de inundación para diversas frecuencias. ....</i>                                      | <i>86</i> |
| <i>Tabla 11. Resumen de volúmenes de inundación en diferentes periodos de recurrencia post proyecto. ....</i> | <i>88</i> |
| <i>Tabla 12. Volúmenes de inundación para diversas frecuencias post proyecto. ....</i>                        | <i>88</i> |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| <i>Ilustración 1. Estero Salado de Guayaquil. [La República, 2016]</i> .....  | 7  |
| <i>Ilustración 2. Zonificación del Estero Salado. [LAHMEYER, 2000]</i> .....  | 10 |
| <i>Ilustración 3. Vista en Planta del Ramal B del Estero Salado. [Saltos, 2022]</i><br>.....  | 11 |
| <i>Ilustración 4. Vista en Planta de Áreas de Aportación al Ramal B del Estero Salado. [Saltos, 2022]</i> .....   | 11 |
| <i>Ilustración 5. Cuenca de drenaje del ramal B del estero Salado de Guayaquil y sistema de AALL existente. [M.I. Municipalidad de Guayaquil, 2002]</i> ..... | 12 |
| <i>Ilustración 6. Modelo conceptual desarrollado en SWMM. [Interagua, 2011]</i><br>.....  | 19 |
| <i>Ilustración 7. Compuertas Basculantes [Gate Valve,2022]</i> .....  | 19 |
| <i>Ilustración 8. Compuertas Deslizantes [Dust Controlling, 2022]</i> .....   | 20 |
| <i>Ilustración 9. Presas Inflables [Sunny Rubber,2022]</i> .....  | 20 |
| <i>Ilustración 10. Válvulas Tipo Check [VPC S.A.C, 2022]</i> .....  | 21 |
| <i>Ilustración 11. Válvulas Tipo Pinch [VPC S.A.C, 2022]</i> .....  | 21 |
| <i>Ilustración 12. Ubicación del Proyecto de Regulación.</i> .....  | 24 |
| <i>Ilustración 13. Precipitaciones para distintos periodos de recurrencia. [Saltos, 2022]</i> .....   | 26 |
| <i>Ilustración 14. Curva de marea. [Saltos, 2022]</i> .....   | 27 |
| <i>Ilustración 15. Modelación de Áreas de Aportación del Sistema. [Saltos, 2022]</i> .....  | 30 |
| <i>Ilustración 16. Modelación de Nodos del Sistema. [Saltos, 2022]</i> .....  | 31 |
| <i>Ilustración 17. Modelación de Conductos/Tuberías del Sistema. [Saltos, 2022]</i> .....   | 31 |
| <i>Ilustración 18. Modelación del Ramal B del Estero Salado. [Saltos, 2022]</i> ..  | 32 |
| <i>Ilustración 19. Precipitación para 2 años de periodo de recurrencia. [Saltos, 2022]</i> .....  | 33 |
| <i>Ilustración 20. Precipitación para 5 años de periodo de recurrencia. [Saltos, 2022]</i> .....  | 33 |
| <i>Ilustración 21. Precipitación para 10 años de periodo de recurrencia. [Saltos, 2022]</i> .....   | 34 |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Ilustración 22. Precipitación para 25 años de periodo de recurrencia. [Saltos, 2022].....</i>                     | <i>34</i> |
| <i>Ilustración 23. Curva de Marea [Saltos, 2022] .....</i>   | <i>35</i> |
| <i>Ilustración 24. Vista en planta del sistema post simulación con TR= 2 años. [Saltos, 2022].....</i>               | <i>37</i> |
| <i>Ilustración 25. Perfil del ramal B del Estero Salado con TR= 2 años. [Saltos, 2022].....</i>                      | <i>37</i> |
| <i>Ilustración 26. Hidrograma en la sección de descarga con TR= 2 años. [Saltos, 2022].....</i>                      | <i>38</i> |
| <i>Ilustración 27. Variación de nivel en sección de descarga con TR= 2 años. [Saltos, 2022].....</i>                 | <i>38</i> |
| <i>Ilustración 28. Vista en perfil del colector C2 con TR= 2 años. [Saltos, 2022] .....</i>                          | <i>39</i> |
| <i>Ilustración 29. Vista en perfil del colector C5 con TR= 2 años. [Saltos, 2022] .....</i>                          | <i>39</i> |
| <i>Ilustración 30. Hidrograma de inundación con TR= 2 años en el nodo B3. [Saltos, 2022].....</i>                    | <i>40</i> |
| <i>Ilustración 31. Hidrograma de inundación con TR= 2 años en el nodo N4140. [Saltos, 2022].....</i>                 | <i>40</i> |
| <i>Ilustración 32. Hidrograma de inundación con TR= 2 años en el nodo N2389. [Saltos, 2022].....</i>                 | <i>41</i> |
| <i>Ilustración 33. Hidrograma de inundación con TR= 2 años en el nodo N1770. [Saltos, 2022].....</i>                 | <i>41</i> |
| <i>Ilustración 34. Vista en planta del sistema post simulación con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022].....</i> | <i>43</i> |
| <i>Ilustración 35. Perfil del ramal B del Estero Salado con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022].....</i>        | <i>43</i> |
| <i>Ilustración 36. Hidrograma en la sección de descarga con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022].....</i>        | <i>44</i> |
| <i>Ilustración 37. Variación de nivel en sección de descarga con <math>T_r = 5</math> años. [Saltos, 2022].....</i>  | <i>44</i> |
| <i>Ilustración 38. Vista en perfil del colector C2 con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022]</i>                  | <i>45</i> |
| <i>Ilustración 39. Vista en perfil del colector C5 con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022]</i>                  | <i>45</i> |

|   |    |
|---|----|
| <i>Ilustración 40. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 5</math> años en el nodo B3. [Saltos, 2022].....</i>       | 46 |
| <i>Ilustración 41. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 5</math> años en el nodo N2476. [Saltos, 2022].....</i>    | 46 |
| <i>Ilustración 42. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 5</math> años en el nodo N4097. [Saltos, 2022].....</i>    | 47 |
| <i>Ilustración 43. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 5</math> años en el nodo N3511. [Saltos, 2022].....</i>    | 47 |
| <i>Ilustración 44. Vista en planta del sistema post simulación con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i> | 49 |
| <i>Ilustración 45. Perfil del ramal B del Estero Salado con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>        | 49 |
| <i>Ilustración 46. Hidrograma en la sección de descarga con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>        | 50 |
| <i>Ilustración 47. Variación de nivel en sección de descarga con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>   | 50 |
| <i>Ilustración 48. Vista en perfil del colector C2 con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>             | 51 |
| <i>Ilustración 49. Vista en perfil del colector C5 con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>             | 51 |
| <i>Ilustración 50. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 10</math> años en el nodo B3. [Saltos, 2022].....</i>      | 52 |
| <i>Ilustración 51. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 10</math> años en el nodo N4140. [Saltos, 2022].....</i>   | 52 |
| <i>Ilustración 52. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 10</math> años en el nodo N2193. [Saltos, 2022].....</i>   | 53 |
| <i>Ilustración 53. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 10</math> años en el nodo N2249. [Saltos, 2022].....</i>   | 54 |
| <i>Ilustración 54. Vista en planta del sistema post simulación con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i> | 55 |
| <i>Ilustración 55. Perfil del ramal B del Estero Salado con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>        | 55 |
| <i>Ilustración 56. Hidrograma en la sección de descarga con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>        | 56 |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Ilustración 57. Variación de nivel en sección de descarga con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>              | <i>56</i> |
| <i>Ilustración 58. Vista en perfil del colector C2 con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                        | <i>57</i> |
| <i>Ilustración 59. Vista en perfil del colector C5 con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                        | <i>57</i> |
| <i>Ilustración 60. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 25</math> años en el nodo B3. [Saltos, 2022].....</i>                 | <i>58</i> |
| <i>Ilustración 61. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 25</math> años en el nodo N4101. [Saltos, 2022].....</i>              | <i>58</i> |
| <i>Ilustración 62. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 25</math> años en el nodo N4138. [Saltos, 2022].....</i>              | <i>59</i> |
| <i>Ilustración 63. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 25</math> años en el nodo N4097. [Saltos, 2022].....</i>              | <i>59</i> |
| <i>Ilustración 64. Vista en planta del sistema post simulación con <math>T_r= 2</math> años. [Saltos, 2022].....</i>             | <i>61</i> |
| <i>Ilustración 65. Perfil del ramal B del Estero Salado con <math>T_r= 2</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                    | <i>61</i> |
| <i>Ilustración 66. Hidrograma en la sección de descarga con <math>T_r= 2</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                    | <i>62</i> |
| <i>Ilustración 67. Variación de nivel en sección de descarga con <math>T_r= 2</math> años. [Saltos, 2022].....</i>               | <i>62</i> |
| <i>Ilustración 68. Vista en perfil del colector C7 con <math>T_r= 2</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                         | <i>63</i> |
| <i>Ilustración 69. Vista en perfil del colector C8 con <math>T_r= 2</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                         | <i>63</i> |
| <i>Ilustración 70. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 2</math> años en el nodo B3 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>     | <i>64</i> |
| <i>Ilustración 71. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 2</math> años en el nodo B5 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>     | <i>64</i> |
| <i>Ilustración 72. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 2</math> años en el nodo N2390 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>  | <i>65</i> |
| <i>Ilustración 73. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 2</math> años en el nodo N2270 post proyecto. [Saltos, 2022].....</i> | <i>65</i> |
| <i>Ilustración 74. Vista en planta del sistema post simulación con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022].....</i>             | <i>67</i> |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Ilustración 75. Perfil del ramal B del Estero Salado con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                    | <i>67</i> |
| <i>Ilustración 76. Hidrograma en la sección de descarga con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                    | <i>68</i> |
| <i>Ilustración 77. Variación de nivel en sección de descarga con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022].....</i>               | <i>68</i> |
| <i>Ilustración 78. Vista en perfil del colector C7 con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022]</i>                              | <i>69</i> |
| <i>Ilustración 79. Vista en perfil del colector C8 con <math>T_r= 5</math> años. [Saltos, 2022]</i>                              | <i>69</i> |
| <i>Ilustración 80. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 5</math> años en el nodo B3 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>     | <i>70</i> |
| <i>Ilustración 81. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 5</math> años en el nodo 2270 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>   | <i>70</i> |
| <i>Ilustración 82. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 5</math> años en el nodo N2189 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>  | <i>71</i> |
| <i>Ilustración 83. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 5</math> años en el nodo N2392 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>  | <i>71</i> |
| <i>Ilustración 84. Vista en planta del sistema post simulación con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>            | <i>73</i> |
| <i>Ilustración 85. Perfil del ramal B del Estero Salado con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                   | <i>73</i> |
| <i>Ilustración 86. Hidrograma en la sección de descarga con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                   | <i>74</i> |
| <i>Ilustración 87. Variación de nivel en sección de descarga con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>              | <i>74</i> |
| <i>Ilustración 88. Vista en perfil del colector C7 con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                        | <i>75</i> |
| <i>Ilustración 89. Vista en perfil del colector C8 con <math>T_r= 10</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                        | <i>75</i> |
| <i>Ilustración 90. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 10</math> años en el nodo B3 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>    | <i>76</i> |
| <i>Ilustración 91. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 10</math> años en el nodo N2270 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i> | <i>76</i> |
| <i>Ilustración 92. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 10</math> años en el nodo N2187 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i> | <i>77</i> |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Ilustración 93. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 10</math> años en el nodo N1862 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>   | <i>77</i> |
| <i>Ilustración 94. Vista en planta del sistema post simulación con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>              | <i>79</i> |
| <i>Ilustración 95. Perfil del ramal B del Estero Salado con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                     | <i>79</i> |
| <i>Ilustración 96. Hidrograma en la sección de descarga con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                     | <i>80</i> |
| <i>Ilustración 97. Variación de nivel en sección de descarga con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                | <i>80</i> |
| <i>Ilustración 98. Vista en perfil del colector C7 con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                          | <i>81</i> |
| <i>Ilustración 99. Vista en perfil del colector C8 con <math>T_r= 25</math> años. [Saltos, 2022].....</i>                          | <i>81</i> |
| <i>Ilustración 100. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 25</math> años en el nodo B3 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>     | <i>82</i> |
| <i>Ilustración 101. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 25</math> años en el nodo N2270 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>  | <i>82</i> |
| <i>Ilustración 102. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 25</math> años en el nodo N2189 con proyecto. [Saltos, 2022].....</i>  | <i>83</i> |
| <i>Ilustración 103. Hidrograma de inundación con <math>T_r= 25</math> años en el nodo N2187 post proyecto. [Saltos, 2022].....</i> | <i>83</i> |
| <i>Ilustración 104. Volumen de inundación en condiciones actuales. [Saltos, 2022].....</i>   | <i>87</i> |
| <i>Ilustración 105. Volumen de inundación post proyecto. [Saltos, 2022].....</i>   | <i>89</i> |
| <i>Ilustración 106. Vista Frontal de la Estructura Regulación y/o Control [Saltos,2022].....</i>                                   | <i>92</i> |
| <i>Ilustración 107. Vista en Corte de la Estructura de Regulación y/o Control [Saltos,2022].....</i>                               | <i>92</i> |
| <i>Ilustración 108. Vista en Corte del Sistema de Regulación y/o Control con Niveles de Agua [Saltos, 2022].....</i>               | <i>93</i> |

# ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| <i>Ecuación 1. Periodo de Retorno</i> ..... | 14 |
|---|----|

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo realizar un análisis acerca del sistema pluvial del ramal B del Estero Salado luego de la instalación de una estructura de regulación, con la finalidad de evitar los eventos de inundaciones en la ciudad que ocurren frecuentemente durante la época invernal. Para la realización se utilizó el programa SWMM (Storm Water Management Model). Teniendo como base el Plan Maestro de Interagua. La modelación consistió en esquematizar el sistema actual con sus debidas condiciones y calcular los volúmenes de inundación con los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años; posteriormente, se realizó la simulación con la estructura implementada y conseguir los volúmenes de inundación bajo esta condición, en la cual se tuvo como resultado que los mismos serían menores gracias a la estructura implementada. Finalmente, se tiene que colectores ante periodos de lluvias de dos horas, su funcionamiento es ahogado llegando a un volumen de inundación de 72208.56 m<sup>3</sup> bajo las condiciones actuales, mientras que, al instalar las válvulas Pinch controla el ingreso del agua por efecto de la marea evitando que estos colectores no funcionen de manera ahogada y que el volumen de inundación disminuya a 55538.56 m<sup>3</sup>, siendo este un 23% menor al volumen actual.

**Palabras Clave: Estero Salado, Ahogamiento, Colectores, Inundación, Alcantarillado, Pluvial, Hidráulica, Tuberías, Modelación.**

## **ABSTRACT**

The present project has as principal objective the analysis about pluvial system from B branch of Estero Salado after the installation of regulation structure trying to avoid the flooding events that usually happen on winter season. For the process was necessary to use Storm Water Management Model software having as a principal information "Plan maestro" by Interagua. The simulation consist on modeling the actual pluvial system with all its conditions and flooding volumes calculus for the period return of 2, 5, 10 and 25 years. Then, the regulation structure was added to the system and get the new flooding volume having as a result that the collectors when the raining period is more than 2 hours, they works as full capacity reaching to 72208.56 m<sup>3</sup> of flooding volumes, meanwhile, the system set Pinch valves, they both allow the right control of water from tide avoiding that the sumps work at full capacity decreasing the flooding volume to 55538.56 m<sup>3</sup>, comparing with the another one, this is 23 % less.

**Keywords: Estero Salado, Drowning, Collectors, Flooding, Sewage, Pluvial, Hydraulic, Pipes, Modeling.**

## INTRODUCCIÓN

Guayaquil es una de las ciudades de mayor importancia en el Ecuador, por lo que la administración para el correcto desarrollo de esta debe prever cualquier situación de riesgo que puede comprometer a la ciudad. El manejo de aguas es una necesidad latente que permite brindar seguridad a los ciudadanos de la urbe, sin embargo, ante fuertes inviernos, los sistemas de aguas pluviales colapsan y surge el efecto de inundaciones en zonas bajas de la ciudad. Una de las zonas de mayor riesgo de inundación es Urdesa, debido a que las aguas lluvias desembocan en el cuerpo cercano conocido como el Estero Salado.

Cuando el efecto de marea se suma a las intensas precipitaciones los colectores sufren ahogamientos que causan el indeseado suceso, por lo que, se analizará el diseño de una estructura de regulación y su eficacia para el control de inundaciones, estos resultados se obtendrán por medio de la modelación del software SMWW. Para ello, se explicará la esquematización del modelo teniendo dos escenarios, el primero acerca de la situación actual y el segundo cuando la estructura esté implementada, a su vez, estos escenarios estarán sujetos a varios periodos de retorno.

Finalmente, la modelación mostrará gráficas de los niveles de aguas en los dos escenarios propuestos, en donde, se espera que los niveles de agua de inundación del segundo sean menores, corroborando así la eficacia de la estructura de regulación.

# 1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Antecedentes

El estuario interior del Golfo de Guayaquil está formado por varios cuerpos de agua como el Estero Salado junto con los cursos inferiores del Daule y Babahoyo. Estos además son alimentados por las aguas lluvias que descargan naturalmente o a través de conductos de agua hacia el estuario mencionado.

El Estero Salado está dividido en varios tramos, pero los más afectados por la población de Guayaquil son los tramos A y B, ya que, estos presentan un alto nivel de contaminación por las descargas de aguas industriales y domésticas, a través de los sistemas de drenaje pluvial, estas descargas son provenientes de ciudadelas que se han desarrollado a las orillas de los tramos mencionados previamente como Urdesa, Kennedy, Miraflores, etc.

Debido a sus condiciones geográficas y topográficas, Guayaquil es una ciudad altamente vulnerable a inundaciones durante eventos extremos de precipitación. Una de las causas asociadas al problema de las inundaciones es cuando la descarga de gran parte del sistema existente de alcantarillado pluvial (AALL) descarga al estero Salado, por lo tanto, se encuentra sujeto al régimen de mareas del Golfo de Guayaquil, por lo que, los eventos de lluvia pueden coincidir con pleamares de Sicigia, lo que hace que el sistema de drenaje trabaje de forma "ahogada" y sea menos eficiente.

Estos tramos o ramales del Estero Salado han tenido un aumento significativo con respecto a las áreas de aportación en las cabeceras de estos, debido al desarrollo de las ciudadelas mencionadas anteriormente, lo que ha generado incremento en los caudales de escurrimiento superficial. Surgiendo como efecto los siguientes impactos en el estero:

- Reducción de sección transversal de los esteros debido al crecimiento de las ciudadelas sobre el estero y a su aporte de sedimento por sus sistemas afluentes.

- Incremento del escurrimiento superficial debido a la impermeabilización de la cuenca.
- Inundaciones en los sistemas de drenaje de las ciudadelas con reducida capacidad de drenaje debido a la coincidencia de marea alta e intensas precipitaciones.

Hace unos años se construyó un paso sobre el ramal A del Estero Salado, justo antes de su confluencia con el ramal B. Este paso que permite el flujo y reflujo de las mareas constituye el acceso a Urdesa desde el centro de Guayaquil. Las estructuras de drenaje de este paso están instaladas a un nivel superior al del cauce del ramal B del estero, razón por la cual se denomina a este tramo “El ramal represado del Estero Salado”.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos Generales**

Realizar un análisis hidráulico sobre la factibilidad de implementar una estructura de regulación de niveles de marea en el ramal B del estero Salado de Guayaquil y cuantificar la posible disminución de los volúmenes de inundación en la cuenca de drenaje.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Describir y diagnosticar el sistema existente de AALL dentro de la cuenca de drenaje del ramal B del Estero Salado, para las condiciones actuales (sin regulación).
- Modelar hidráulicamente el sistema existente de AALL para varias frecuencias (aplicables a un drenaje urbano), de acuerdo con varios escenarios propuestos (condiciones de marea en la descarga).
- Modelar hidráulicamente el sistema existente de AALL para varias frecuencias (aplicables a un drenaje urbano), considerando la implementación de una estructura de regulación.
- Cuantificar la posible reducción de los volúmenes de inundación para los escenarios analizados, comparando el escenario actual contra el escenario con regulación.

### **1.3. Presentación del Tema**

Este trabajo tiene como finalidad la investigación y análisis de eficiencia del sistema de AALL dentro de la cuenca de drenaje del ramal B del Estero Salado de la ciudad de Guayaquil, se analizará y calculará los volúmenes de inundación para diferentes escenarios propuestos con y sin una estructura de regulación, para poder comparar la eficiencia del diseño de dicha estructura. Para ello se tomarán en cuenta los niveles de marea y distintos escenarios de precipitaciones con los cuales se desarrollará el tema **“Análisis hidráulico sobre la implementación de una estructura de regulación de una estructura de regulación del ramal b del estero salado de guayaquil para la reducción de los riesgos de inundación en su cuenca de drenaje”**

### **1.4. Razones para la Investigación del Tema**

Guayaquil es la ciudad de más grande del país y su continuo crecimiento hace que brindar un correcto manejo de aguas lluvias sea una necesidad vital para los habitantes de la urbe. El diseño de este sistema de AALL debe estar sujeto a las condiciones geográficas y topográficas de la ciudad, la misma, que ante precipitaciones de gran intensidad trae como resultado inundaciones. Este desafortunado evento es consecuencia de que gran parte del sistema actual de alcantarillado pluvial se descarga en el Estero Salado, el mismo que es afectado por las mareas del golfo de Guayaquil. Los eventos de lluvia intensa pueden a su vez coincidir con las pleamares de Siciquia provocando que el sistema de drenaje alcance su cota límite y que su función se vea reducida.

### **1.5. Justificación del Tema**

La presente investigación tiene como propósito generar una propuesta que ayude a mitigar los riesgos de inundación en la ciudad de Guayaquil, planteando una solución técnica, teniendo como expectativa mejorar el sistema de drenaje existente de un área de más de 20 km<sup>2</sup> que desborda al ramal B del Estero Salado.

## **1.6. Alcance**

- a) Recopilar información necesaria de instituciones públicas y privadas (Interagua, INAMHI, Municipio de Guayaquil, IGM, INEM, etc.) para establecer una línea base que permitirá desarrollar los objetivos propuestos.
- b) Seleccionar criterios de análisis hidrológicos que sean aplicables en la zona de estudio, los cuales son requeridos para la modelación hidráulica del sistema de drenaje existente incorporando el ramal B del Estero Salado para distintos escenarios.
- c) Analizar la factibilidad de la implementación de una estructura de regulación de niveles de marea en la descarga del ramal B del Estero Salado.
- d) Realizar una evaluación ambiental general para determinar los posibles impactos ambientales a generarse.

## **1.7. Metodología**

Para la caracterización de la cuenca, se utilizará principalmente la información del sistema existente de AALL proveniente de Interagua, EMPAG o Municipio de Guayaquil. Además, como complemento se utilizará la información cartográfica del IGM y el modelo de elevaciones del SIG Tierras (MAGAP) con resolución de 4 m. También se utilizará una batimetría del ramal B del estero Salado, obtenida del Municipio de Guayaquil.

Para la modelación hidráulica del sistema se utilizará el programa de licencia libre SWMM (U.S. EPA), el cual permite modelar un sistema de drenaje para flujo no permanente y considerando condiciones variables en la descarga. Las ecuaciones de precipitación se obtendrán de las normas de Interagua o del Estudio de Lluvias Intensas del INAMHI (1999 y 2015).

Los criterios hidrológicos e hidráulicos escogidos provendrán de normas ampliamente difundidas y aceptadas: Interagua, Senagua, U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Geological Survey, U.S. Department of Agriculture, etc.

## 2. CAPITULO II: INFORMACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.1. Sistema Estuarino Rio Guayas-Estero Salado

El Estero Salado es un sistema estuarino perteneciente al golfo de Guayaquil. Ubicado al Oeste del Golfo y al Occidente del Rio Guayas, se extiende alrededor de 30 km por diversos ramales en los que fluye agua del Golfo hasta la ciudad de Guayaquil. Sus coordenadas UTM WGS84 son: 605629 a 626033.1 al Este y 9742059.5 a 9764155 al Norte. (Briones Perez, 2021)

El sistema estuarino Rio Guayas-Estero Salado es la principal cuenca hidrográfica del golfo de Guayaquil, surge de la unión de los ríos Daule y Babahoyo, situados al norte de Guayaquil, tiene una anchura aproximada de 1.5 km, profundidades que varían de los 10 a 20 m y drena aproximadamente 30000 km<sup>2</sup>. El Estero Salado ingresa algunos kilómetros en el Norte de la ciudad de Guayaquil. En el sur de la ciudad, el Estero Salado y el Río Guayas se conectan artificialmente debido al sistema de compuertas de la esclusa Estero Cobina. (Pineda Alvear, 2013)



*Ilustración 1. Estero Salado de Guayaquil. [La República, 2016]*

## **2.2. Zonificación del Estero Salado**

Según LAHMEYER (2000), el sistema Estuarino está dividido en 3 zonas basándose en condiciones geográficas y urbanísticas. Cada una de estas asimismo está subdividida en tramos por su ubicación. Estas zonas son:

### **2.2.1. Zona 1**

Correspondiente a las áreas urbanas que cuentan con los servicios básico de aguas (agua potable, alcantarillado, drenaje). En esta zona muchas industrias y residencias desfogan sus aguas residuales a canales y al Estero Salado, se divide en 4 tramos que van desde el interior del Estero Saldo hasta el Puente de la calle 17. (LAHMEYER, 2000)

- **Tramo A:** Ramal interior represado entre las ciudadelas Urdesa y Kennedy.
- **Tramo B:** Ramal con dirección Noroeste ubicado entre el Parque Miraflores y el Puente que une Urdesa y Kennedy, cerca del límite Norte de la Universidad de Guayaquil. (Punto de encuentro Tramo A y B)
- **Tramo C:** Ramal ubicado entre el encuentro del Ramal A y B y el Puente 5 de junio.
- **Tramo D:** Ramal comprendido entre el Puente 5 de junio y Puente de la calle 17.

### **2.2.2. Zona 2**

Zona formada por áreas urbanas a orillas del Estero, formado por invasiones de gente de bajo recursos económicos que en algunos lugares rellenaron parte del estero para asentarse, no cuentan con los servicios de agua potables, alcantarillado, drenaje. Sus aguas residuales no son tratadas y son descargadas sin tratar a los cuerpos de agua, además que al ser zonas sin servicios básicos ni recolección de basura sus habitantes arrojan sus desechos directamente al agua. Se divide en 5 zonas que van desde el

Puente de la calle 17 hasta Cuatro Bocas y el Estero Cobina. (LAHMEYER, 2000)

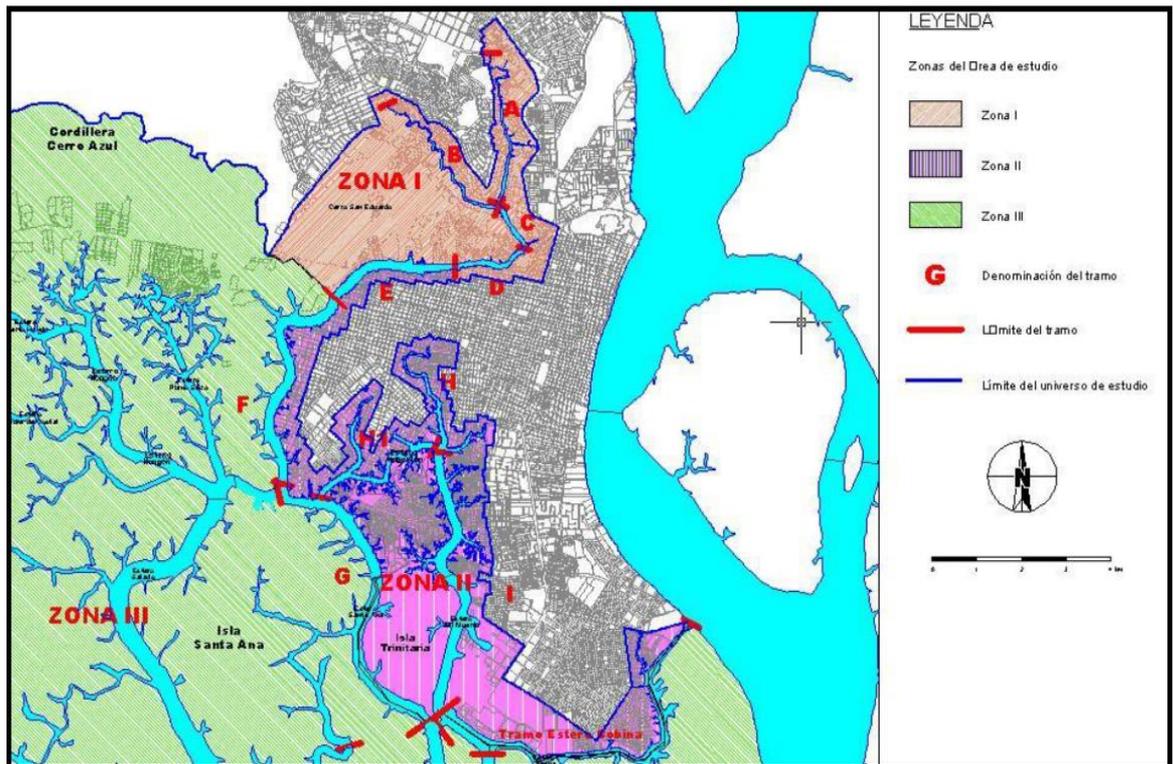
- **Tramo E:** Tramo entre el Puente de la calle 17 y el Puente Portete.
- **Tramo G:** Tramo cerca del Puerto Marítimo, entre el Estero Santa Ana y límite sur de la Isla Trinitaria.
- **Tramo H:** Tramo desde Puerto Liza hasta Cuatro Bocas.
- **Tramo I:** Tramo entre Cuatro Bocas y Puerto Marítimo.
- **Tramo Estero Cobina:** Estero donde se ubica el Puerto Marítimo, tramo en medio del Rio Guayas y el Sur de la Isla Trinitaria.

### **2.2.3. Zona 3**

Esta zona no se encuentra bien definida, debido a su diversidad distintiva, se han desarrollado cultivos de especies bioacuáticas en cautiverio (camarón), que se podrían ver afectado, por la utilización del agua con bajo oxígeno disuelto. En esta zona se incluyen los esteros: Plano Seco, Mongón, Madre de Costal y el Salado, ubicados al Oeste y Sur de la isla Santa Ana y al Norte y Oeste de la isla Esperanza. (LAHMEYER, 2000)

- **Tramo Puerto Hondo:** Tramo ubicado entre el ramal interno de Puerto Hondo y los Esteros Plano Seco, Estero Mongón y Estero Madre Costal.
- **Tramos Varios:** Abarca principalmente el Estero y los esterillos al Oeste y Sur de la isla Santa Ana y Norte y Oeste de la isla Esperanza.

Las zonas y tramos explicados previamente se pueden observar en la *Ilustración 2*

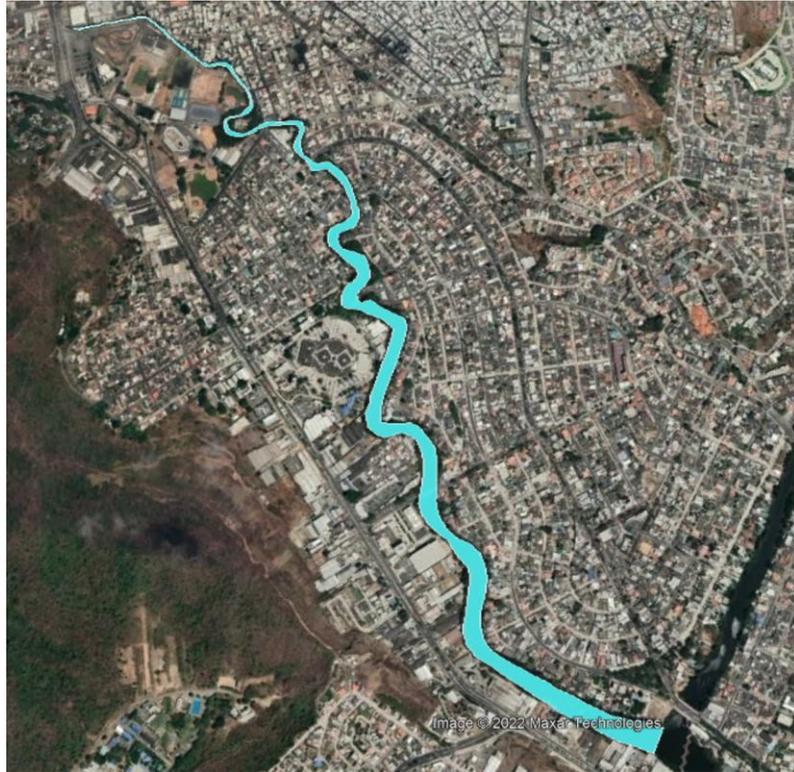


**Ilustración 2. Zonificación del Estero Salado. [LAHMEYER, 2000]**

### **Ramal B del Estero Salado**

El ramal B del estero Salado, ubicado entre las Avenidas Víctor Emilio Estrada y Carlos Julio Arosemena, y va desde el Puente Zig-Zag hasta el Km 1 ½ de la Vía Daule, teniendo una longitud de 4.33 km, con un ancho y profundidades variables a medida que el ramal avanza y una extensión superficial de 16.3 Ha. En este ramal se descargan los colectores de sectores como: Urdesa, Miraflores, entre otras áreas industriales que están ubicadas a orillas del Estero Salado.

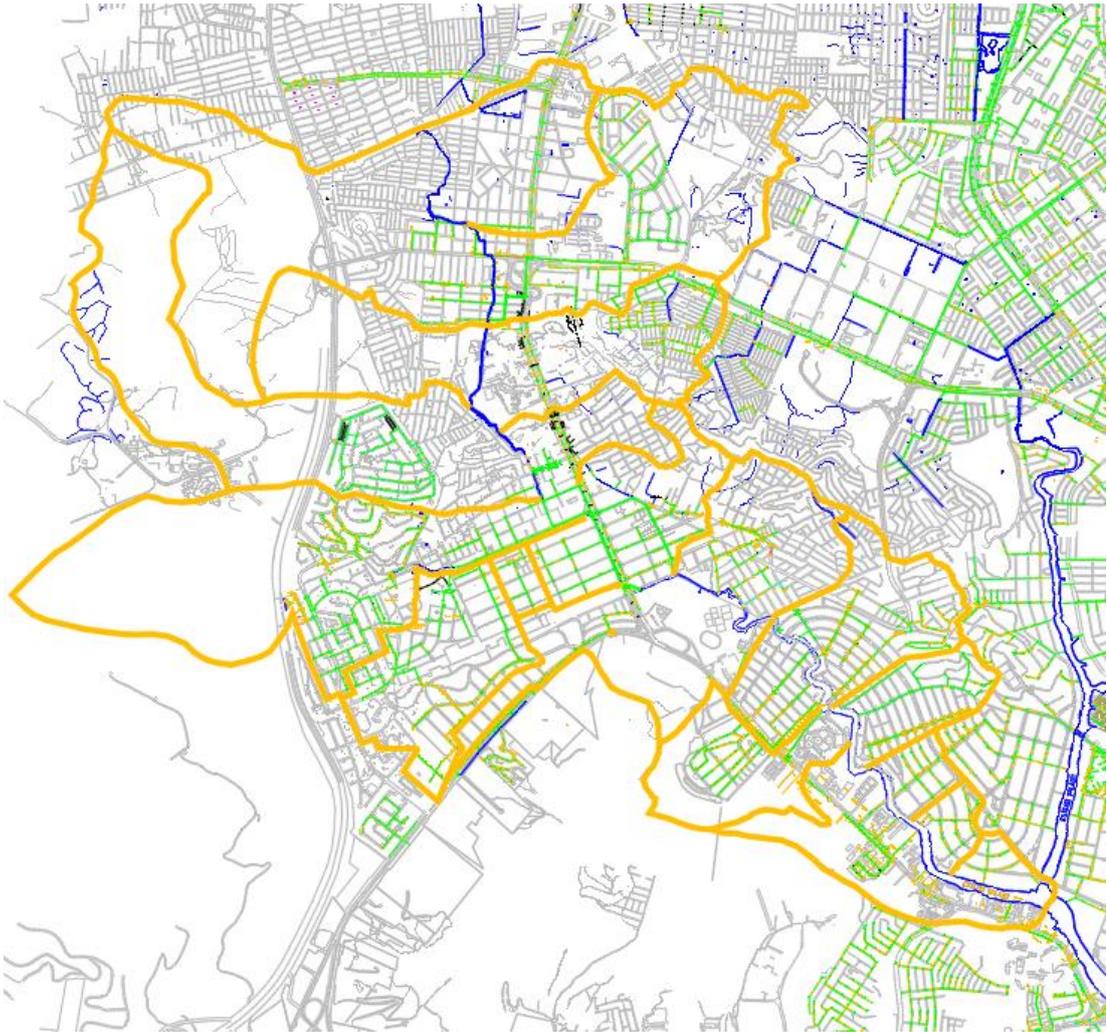
La cuenca a la cual el sistema realiza sus descargas de flujos posee un relieve irregular con rangos de elevaciones que van desde los tres 3 a 40 metros. Estas elevaciones son notorias en zonas de la ciudad como el Cerro San Eduardo “Ciudadela Paraíso”, Cerro de Bellavista, los cuales en la mayor parte de su extensión son zonas residenciales e industriales ubicadas a la orilla del Estero Salado, misma zona a la cual se descargan.



***Ilustración 3. Vista en Planta del Ramal B del Estero Salado. [Saltos, 2022]***



***Ilustración 4. Vista en Planta de Áreas de Aportación al Ramal B del Estero Salado. [Saltos, 2022]***



***Ilustración 5. Cuenca de drenaje del ramal B del estero Salado de Guayaquil y sistema de AALL existente. [M.I. Municipalidad de Guayaquil, 2002]***

## **3. CAPITULO III: MARCO TEÓRICO**

### **3.1. Tipos de Cuerpos de Agua**

#### **3.1.1. Agua**

Elemento líquido, inodoro e incoloro que ocupa  $\frac{3}{4}$  partes del planeta tierra, su composición química es la combinación de una molécula de oxígeno y dos de hidrógeno. Es la iniciadora en la formación de lluvias, fuentes, ríos y mares; es un elemento fundamental para el inicio y desarrollo de la mayoría si no es casi todos los organismos presentes en la tierra. (Aspiazu Salinas, 2020)

#### **3.1.2. Aguas Marinas**

Constituidas por los océanos y mares, cubren  $\frac{3}{4}$  partes de la superficie de la tierra, del 100% de agua en el planeta estos son el 97% de agua de este. Su principal característica es su alta salinidad, se han reconocido doscientos mil especies marinas y millones sin identificar. (ONU, 2015)

#### **3.1.3. Estuario**

Cuerpo de agua que tiene libre tránsito con el océano, es una combinación de agua con origen fluvial con el agua salina. (Cabrera Muro, 1975)

### **3.2. Sistema de Alcantarillado Pluvial**

El sistema de alcantarillado pluvial está formado por un conjunto de tuberías y obras complementarias con el objetivo de recibir y transportar el flujo de agua producido por la lluvia, el proceso es, al inicio el agua captada en los colectores de las calles y conexiones domiciliarias, es transportada por una red de tuberías que van aumentando su sección a medida que la captación de agua es mayor, luego estos colectores entregan el caudal a un grupo de canales de aguas lluvias que se descargara en un punto. (López Cualla, 1995)

### 3.3. Criterios del Análisis Hidrológico

#### 3.3.1. Periodo de Retorno

Es el tiempo promedio en que un evento hidrológico vuelva a repetirse con su misma magnitud o mayor. El conocimiento de este evento nos ayuda a diseñar y planificar de forma más precisa una obra. (Vera Mutre, 2009)

Según Campos Daniel (1998) el periodo de retorno se relaciona con la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{1}{P * (X \geq x)}$$

**Ecuación 1. Periodo de Retorno.**

El periodo de retorno se elige dependiendo del tamaño del de la cuenca de drenaje urbano o de la importancia del trabajo a diseñar, así como también de la duración de la precipitación que se obtiene de la curva IDF.

Según López Ricardo (1995) el periodo de retorno para un sistema de alcantarillado depende de las zonas como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1. Periodo de retorno del diseño de sistemas de alcantarillado.**

| FRECUENCIA DE DISEÑO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ZONA |                   |
|--|-------------------|
| Descripción de la Zona                           | Frecuencia (Años) |
| Zona Residencial                                 | 3-10              |
| Zona Comercial e Industrial                      | 10-50             |
| Colectores Principales                           | 10-100            |

**Fuente: López, 1995**

Interagua que es la empresa de servicios básicos de agua recomienda que para diseños principales con grandes cuencas de drenaje se usen periodos de retorno de 10-25 años.

### 3.3.2. Tiempo de Concentración

Representa el tiempo que demora una gota de lluvia al caer al punto hidráulicamente más alejado de la cuenca y escurre superficialmente hasta su salida, dicho de otra forma, es el tiempo a partir del cual toda la cuenca contribuye al caudal en el punto de salida de esta. (Betancor, 2014)

### 3.3.3. Coeficiente de Escurrimiento

De acuerdo con (Chow, 1994), el coeficiente de escurrimiento es la relación entre el escurrimiento directo y la intensidad promedio de la precipitación en una tormenta.

### 3.3.4. Intensidad de Precipitación

Las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) es la relación generada entre la intensidad de lluvia media y la frecuencia, son utilizadas para fines de diseño y operación en proyectos hidráulicos. (Pérez-Sánchez, 2017)

Alrededor de los años distintos estudios hechos por diversos investigadores han creado varios modelos de para la construcción de las curvas IDF, como se puede apreciar en la tabla 2.

**Tabla 2. Modelos para Construcción de Curvas IDF**

| Métodos de Construcción de Curvas IDF |  |
|---------------------------------------|--|
| Autor                                 | Modelo   |
| Bernard (1932)                        | $i = \frac{\lambda * T^\psi}{d^\eta}$  |
| Sherman (1931)                        | $i = \frac{\lambda * T^\psi}{(d + \theta)^\eta}$   |
| Chow et al. (1994)                    | $i = \frac{\lambda * T^\psi}{d^\eta + \theta}$   |
| Koutsoyiannis et al. (1998)           | $i = \lambda \left( \frac{\psi - \text{Ln}(-\text{Ln}(1 - \frac{1}{T}))}{(d + \theta)^\eta} \right)$ |

**Fuente: Pérez Sánchez, 2017**

### **3.4. Programa SWMM (Storm Water Management Model)**

#### **3.4.1. Modelos Informáticos para Diseño de Aguas Lluvias**

Los diversos modelos informáticos o matemáticos efectivos permiten realizar largos análisis de cálculos repetitivos, lo cual es un avance tecnológico de gran ayuda, ya que antes estos modelos se calculaban a mano o en tablas de Excel lo cual era un proceso largo y tedioso, por lo que ahora se pueden hacer modelos para diseñar obras en varios campos de la ingeniería y para esta investigación, un cálculo de diseño de drenaje de aguas lluvias. (Pineda Alvear, 2013)

Para lograr un modelo matemático exitoso, es necesario tener buen criterios y bases para el diseño de este, ya que con en caso de contrario el modelo arrojaría resultados incongruentes. Entre los parámetros que se deben tener claro para un modelo del diseño de drenaje de agua lluvias están: Coeficientes de Infiltración, de Manning, Permeabilidad, Impermeabilidad, Ancho de Cuenca, Área de Cuenca, diámetros y Longitud de tubos, Pendientes, entre otros. (Pineda Alvear, 2013)

Existen diversos programas para el análisis hidrológico-hidráulico que es lo que se deberá usar para este trabajo, por lo que se escogió el SWMM (Storm Water Management Model) que es un programa gratuito de la EPA (Agencia de Protección de Medio Ambiente). El cual tiene una interfaz de fácil uso y a diferencia de otros en este se puede incluir los efectos de la marea para resultados más precisos y con su metodología de Lluvia-Escorrimento lo hace un programa completo.

#### **3.4.2. Método Lluvia-Escorrimento**

El modelo SWMM considera varios procesos hidrológicos para el cálculo y diseño, como las precipitaciones variables en el tiempo, evaporación de aguas superficiales estancadas, infiltraciones entre otros, este programa disponible gratuitamente y de interfaz amigable que permite la simulación hidráulica de sistemas de drenaje pluvial o sanitario. (EPA, 2005)

El módulo hidrológico del modelo SWMM trabaja con una serie de cuencas donde la precipitación ingresa y genera el escurrimento, el modelo

analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema formado por tubería, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. (Rincon Ortiz, 2013)

### **3.4.3. Criterios de la Evaluación Hidráulica**

El bloque de escurrimiento simula la cantidad y la calidad del escurrimiento del desagüe y la dirección de flujos y contaminantes a las líneas principales de la alcantarilla. (EPA, 2005)

### **3.4.4. SWMM (Storm Water Management Model)**

El programa SWMM permite realizar una simulación de una precipitación en una red según las condiciones que uno desee o que sean necesarias para el proyecto, teniendo resultados de inundaciones y por ende saber que tan optima será la red diseñada.

Este modelo de gestión de aguas pluviales que pertenece a la EPA es un “modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido.” (EPA, 2005)

El programa tiene muchas características y funciones para hacer el modelado del diseño más parecido a la realidad y tener resultado efectivos, funciona de manera que el sistema formado por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores, y al mismo tiempo el analiza el caudal de escorrentía de cada una de las subcuencas, tuberías y canales, el módulo de escorrentía asimismo es tomado de las subcuencas que generan el agua lluvia que forma la escorrentía. Otra característica es que admite considerar la cantidad y calidad de agua drenada.

De acuerdo con (EPA, 2005) el programa tiene la función de representar el comportamiento del sistema de drenaje ante varios flujos de agua. Esto gracias a que tiene varios modulo que componen un análisis medioambiental entre estos están:

- **Módulo Atmosférico:** Se analiza la precipitación que cae y los contaminantes que se almacenan sobre la superficie del suelo, (lo último se analiza en el Módulo de Superficie del Suelo). SWMM utiliza el objeto Pluviométrico (Rain Gage) para representar las entradas de lluvia en el sistema.
- **Módulo de Superficie del Suelo:** Representado por uno o más objetos cuenca (Subcatchment). Estos objetos son los receptores de la precipitación del Módulo Atmosférico en forma de lluvia o nieve, generando flujos de salida en forma de infiltración para el Módulo de Aguas Subterráneas y también como escorrentía superficial y cargas contaminantes para el Módulo de Transporte.
- **Módulo de Aguas Subterráneas:** Recibe la infiltración del Módulo de Superficie del Suelo y se encarga de traspasar una parte de la misma como flujo de entrada para el Módulo de Transporte, aplicando el objeto acuífero (Aquifers)
- **Módulo de Transporte:** Crea una red de elementos para transporte (canales, bombas y elementos de regulación) y unidades de almacenamiento y tratamiento que transportan el agua hacia los Nudos de Vertido (outfall) o las estaciones de tratamiento. Los flujos de entrada provienen de la escorrentía superficial, interacción con flujo subterráneo, canales sanitarios o hidrogramas de entrada. Sus componentes se modelan con objetos Nudos y Líneas.



*Ilustración 6. Modelo conceptual desarrollado en SWMM. [Interagua, 2011]*

### 3.5. Equipos de Regulación

#### 3.5.1. Compuertas Basculantes

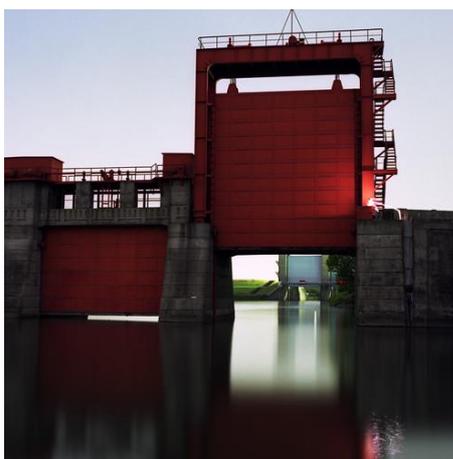
Compuertas de sencilla instalación y funcionamiento, operan automáticamente por diferencia de presión cuando se las instala para controlar el flujo en una sola dirección, que es su operación normal, no está diseñada para permitir el flujo en ambas direcciones, para lograr esto se tendría que disponer mecanismos adicionales para su izaje que complican su operación y control.



*Ilustración 7. Compuertas Basculantes [Gate Valve,2022]*

### **3.5.2. Compuertas Deslizantes**

Compuertas que sirven para regular o controlar el flujo caracterizadas por ser una estructura compacta, un cierre confiable y buen rendimiento de sellado pueden ser operados por un motor eléctrico, neumático e hidráulico. Basadas en las distintas necesidades ya sea: espesor de pared requerido, caudal o altura de nivel de agua. Permite el paso del agua en ambas direcciones, pero requieren de mecanismos de izaje.



***Ilustración 8. Compuertas Deslizantes [Dust Controlling, 2022]***

### **3.5.3. Presas Inflables**

Presas conformadas por un tubo flexible de goma, sellado por sus extremos que se instalan en el curso del agua anclados en una losa de cimentación, que se elevan mediante inflado con agua o aire y descienden al vaciar el contenido de su interior. Su operación se basa únicamente de los dispositivos necesarios para el suministro y extracción de aire o aguas para los procesos de inflado y desinflado.



***Ilustración 9. Presas Inflables [Sunny Rubber,2022]***

#### **3.5.4. Válvulas tipo Check**

Válvulas construidas con materiales elastómeros que no se ven afectados por la salinidad del agua y de los contaminantes de la misma, no necesitan un mecanismo especial para su operación, funcionan automáticamente por diferencias de niveles de aguas, pero solo permite el flujo en una sola dirección.



*Ilustración 10. Válvulas Tipo Check [VPC S.A.C, 2022]*

#### **3.5.5. Válvulas tipo Pinch**

Válvulas elaboradas por materiales elastómeros, no se ven afectados por las condiciones del agua, funcionan en ambas direcciones mediante inflado/desinflado con aire suministrado por compresores, de tal manera que en su posición de cierre (inflado), no permite el ingreso de fluidos y para desalojar fluidos su posición de inicio (desinflado). Son de operación sencilla, y funcionamiento automático sin complicados mecanismos.



*Ilustración 11. Válvulas Tipo Pinch [VPC S.A.C, 2022]*

## 4. CAPITULO IV: METODOLOGIA

### 4.1. Planteamiento de Alternativas

El ramal B del Estero Salado descarga libremente hacia el ramal C, punto donde se encuentran el ramal A y B, ubicado en el Puente Zig-Zag, con niveles de agua que fluctúan entre -2.30 y +2.30 m.s.n.m. El objetivo de este estudio es el análisis del diseño de una estructura de control y regulación en el ramal B del Estero Salado para que así se puede independizar el nivel de agua del ramal B de las fluctuaciones de los niveles de marea en el ramal A, transformando de esta manera el ramal B en un reservorio temporal que mejorara las condiciones de descarga de los sistemas de drenaje pluvial existentes para reducir el riesgo de inundación de las zonas que se ven afectadas en su área de influencia, pero al mismo tiempo debe permitir el drenaje del reservorio.

Para aprovechar toda la capacidad de almacenamiento del estero, la estructura debe ubicarse en el inicio del ramal, esto es en el ramal C, el punto donde descargan el ramal A y B y deberá cumplir las siguientes funciones:

- Evitar el ingreso de la marea durante el periodo de precipitaciones, convirtiendo el estero en un reservorio que únicamente recibirá aportaciones de aguas lluvias, las mismas que se almacenaran temporalmente hasta que su nivel supere al de la marea, para su descarga.
- Permitir el flujo y reflujos de las mareas en época seca o cuando sea necesario y conveniente durante el periodo lluvioso para evitar afectaciones ambientales.

Para que la estructura de control y regulación cumpla las funciones mencionadas previamente estará conformada por dos componentes: Por equipos o elementos que controlen y/o regulen los flujos y la obra civil necesaria para su instalación.

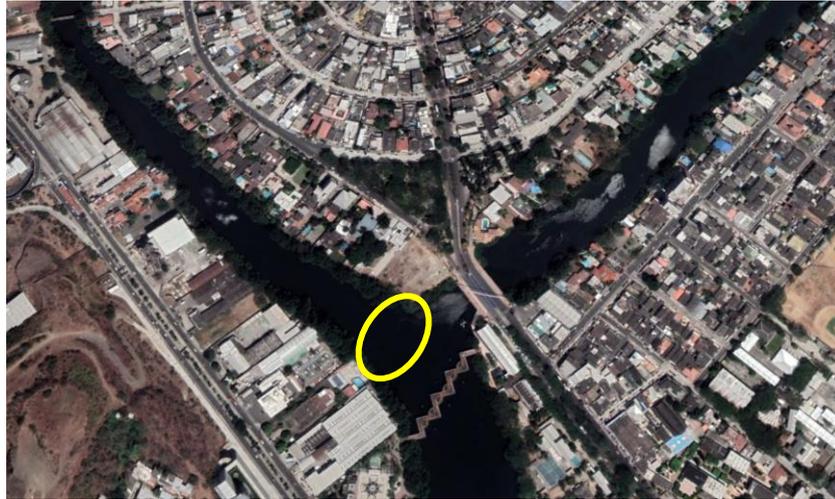
#### **4.1.1. Equipo de Regulación de Flujos**

Para este componente se analizarán varias opciones con el fin de determinar la que mejor se ajuste para el proyecto estas fueron tratadas en el marco teórico de este estudio, los factores que se tuvieron en consideración son:

- Permitir el flujo en ambas direcciones.
- Ser de funcionamiento y operación automático y sencillo.
- Resistente al medio físico donde se instalará.
- Facilidad de ejecución
- Costos

#### **4.1.2. Obra Civil**

La obra civil se describe como la estructura en la cual se asentarán los elementos que componen la regulación o control de aguas a utilizarse en el proyecto. Con la finalidad de aprovechar el área del estero, esta estructura debe localizarse en un punto debidamente estratégico para que pueda generar la mayor captación de volumen de agua. Por ello, se finiquitó que el lugar donde se establecerá esta estructura será en el punto de descarga de los ramales A y B, lo cual permitiría tener un control y a su vez, regular la entrada y salida de los flujos de agua en ambos ramales. La estructura es descrita como una obra de concreto reforzado la cual ocupara el ancho del cauce del estero en el punto de descarga, en esta obra se situará el equipo de regulación de flujo que sea óptimo para la obra, el ancho de esta obra será igual al del cauce para que este permita restringir el ingreso y la salida de agua del ramal B. Esta estructura estará encima de una cimentación que pueda ser capaz de resistir los esfuerzos de la misma



*Ilustración 12. Ubicación del Proyecto de Regulación.*

#### **4.2. Modelación Hidrológica-Hidráulica**

La modelación hidrológica-hidráulica se usa para determinar la respuesta (hidrograma) de una cuenca ante un evento de precipitación, usando un modelo matemático, en este modelo es necesario ingresar las características de la cuenca, su estructura de drenaje, además de la forma, magnitud y duración de la tormenta.

Usando como base de modelación se usará la plataforma del SMWW, donde se elaborará el modelo de la cuenca para conocer el comportamiento hidráulico del ramal B del Estero Salado, desde el inicio de este hasta el ramal C, el cual es el punto de descarga del ramal A y ramal B.

El modelamiento del escurrimiento considera las características de la cuenca, los hietogramas de las precipitaciones que caen en las cuencas, si como procesos que convierten la lluvia total en lluvias efectiva. El análisis hidráulico se puede afectar por diversos métodos como el flujo uniforme, la onda cinemática, la onda dinámica. El modelo además de la generación y transporte de escurrimiento puede estimar la producción y evaluación de cargas contaminantes.

### 4.3. Estudios Hidrológicos (Hietogramas)

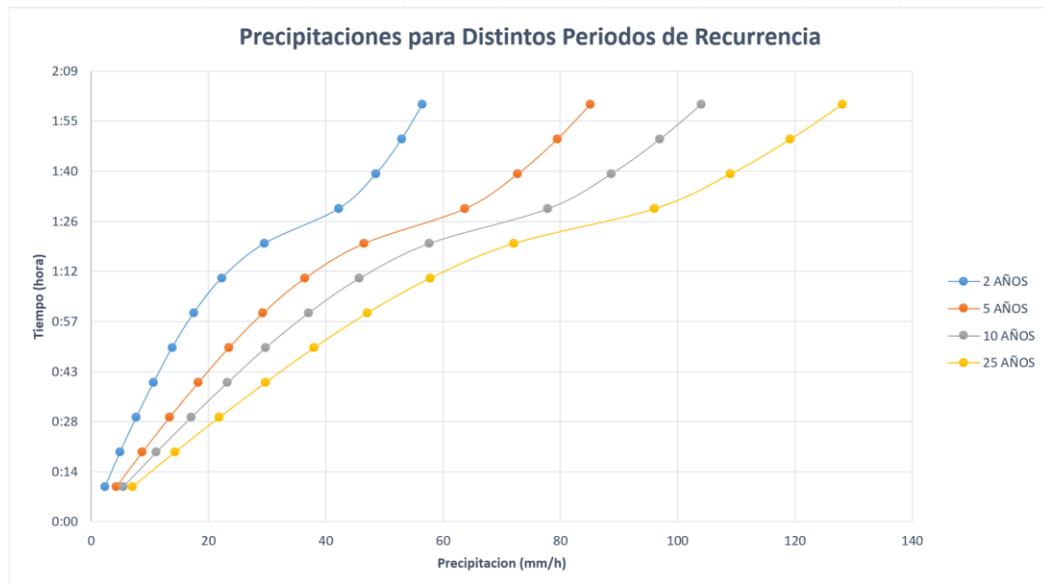
La modelación hidrológica-hidráulica requiere como información de entrada los hietogramas de las tormentas correspondientes a los diversos periodos de recurrencia que se consideraron en el análisis. Los escenarios propuestos se simularon para las frecuencias de tormentas de 2 y 25 años, para lo cual se elaboraron hietogramas con el método de bloques alternos de Ven Te Chow y a partir de las ecuaciones pluviométricas del último Plan Maestro de Interagua.

Para la elaboración de los hietogramas con el método de bloques alternos mencionado previamente se consideró que la intensidad máxima de precipitación se produce en el tiempo medio de la duración de la tormenta. La tormenta tiene una duración de 2 horas debido a que este es el rango máximo de la validez de las ecuaciones de Interagua. Las ecuaciones para las frecuencias de 2 y hasta 25 años se presentan a continuación:

**Tabla 3. Ecuaciones pluviométricas para diversas frecuencias.**

| ECUACIONES PLUVIOMETRICAS (INTERAGUA) |                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Frecuencia                            | Ecuación                             |
| 2 años                                | $i = \frac{742.53}{t^{0.63} + 5.47}$ |
| 5 años                                | $i = \frac{570.75}{t^{0.5} + 2.35}$  |
| 10 años                               | $i = \frac{521}{t^{0.45} + 1.49}$    |
| 25 años                               | $i = \frac{486.74}{t^{0.37} + 0.88}$ |

*Fuente: Interagua, 2020*



**Ilustración 13. Precipitaciones para distintos periodos de recurrencia. [Saltos, 2022]**

#### 4.4. Mareas

El Estero Salado al ser un cuerpo de agua que se conecta con el Golfo de Guayaquil está sujeto al movimiento de las mareas, el ramal A y B están conectados a través de una batería de 20 tubos con diámetros que fluctúan entre 2.00 y 2.40 metros y con cota de invert de alrededor de 0.20 msnm. Cuando en el ramal B su nivel de agua sube debido al efecto de la marea, sube y supera la cota de instalaciones de los tubos, el agua que ingresa al ramal A llega hasta su máximo nivel 2.40 msnm. Cuando la marea baja ocurre el fenómeno contrario y el agua del ramal A desciende hasta la cota del invert de los tubos. Los niveles de agua del ramal B descienden hasta el mínimo de la baja marea, en promedio a la cota -2.40 msnm. Estos datos fueron registrados por el Instituto Oceanográfico de la Armada, mediante mediciones con una regla ubicada en una columna del puente Zig-Zag.



**Ilustración 14. Curva de marea. [Saltos, 2022]**

#### **4.5. Simulaciones Hidrológicas**

Cuando se presenta una precipitación y los niveles del estero están altos por efecto de la marea, se produce un ahogamiento de los colectores que descargan en este, reduciendo su capacidad de evacuación, lo que genera inundaciones en las calles. Lo que se busca con este trabajo es mantener el agua del estero en niveles más bajos, independizándolo de las mareas, para conseguir incrementar la capacidad de descarga de los colectores reduciendo los riesgos de inundaciones.

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente se plantea, diseñar un sistema que impida el ingreso del agua de las mareas, al brazo represado del estero, de tal forma que cuando se produzca una precipitación los niveles en el cuerpo de agua estén bajos y se pueda conseguir un trabajo más eficiente del sistema de drenaje.

Para conocer el comportamiento hidráulico del sistema se han realizado simulaciones con el modelo elaborado para este propósito. Las simulaciones hidrológicas-hidráulicas se efectuaron para dos situaciones de la obra de control.

#### **4.5.1. Escenario 1. Simulación Sin Proyecto**

Para este estudio se denominará estructura de control el lugar donde descargan los ramales A y B (Ramal C) que está ubicado en el Puente Zig-Zag. Teniendo en consideración esta estructura se simuló el comportamiento del sistema de drenaje de toda la cuenca, asumiendo que los niveles de la marea están en aumento hasta llegar a su nivel máximo en el sitio de descarga, y también con niveles de marea baja que conlleva a tener un nivel mínimo de agua en el sitio de descarga, el hidrograma de escurrimiento generado por la lluvia llega al pico, además de emplearse hietogramas correspondientes a 2, 5, 10 y 25 años de 2 horas de duración.

##### **4.5.1.1. Situación 1**

**Marea:** Subiendo, alcanzando su máximo nivel cuando el pico del hidrograma llega a la estructura de control.

**Nivel en el Tramo B:** Cota de descarga normal.

**Lluvia:** Comportamiento para lluvias de entre 2 y 25 años de periodo de recurrencia y de duración de 2 horas.

#### **4.5.2. Escenario 2. Simulación Con Proyecto**

Para establecer la simulación del escenario dos, se considera la existencia de la estructura de control y regulación como propuesta inicial de esta investigación. La solución consiste en la instalación de válvulas de control tipo Pinch o de aire, las cuales funcionan a presión y permiten la entrada y salida del flujo de agua, además debido a que están compuestas por un material elastómero que evita la corrosión de esta, haciendo que sea ideal para la resolución de este tipo de problemáticas. La funcionalidad dentro del proyecto de este tipo de válvulas consiste, cuando se tiene periodos de alta intensidad de lluvia, y en el Estero Salado se tenga presencia del efecto de la marea, las válvulas harán que el sistema se cierre evitando el ingreso de agua proveniente del Estero, y que en los colectores

solo se encuentre agua proveniente de la lluvia que cae sobre la ciudad. La estimación del número de válvulas y su correspondiente diámetro se efectuó considerando que, durante su operación, en el periodo lluvioso, los máximos niveles de agua no superen los que se registran actualmente y que, durante la época seca, se permita el ingreso de los volúmenes de agua de marea requeridos para mantener las condiciones actuales para no afectar al ambiente. La simulación tendrá como resultado que la curva de marea y de precipitación no se acumule en el mismo pico, sino que la curva de marea sea desfasada después del periodo de lluvia.

#### 4.5.2.1. Situación 1

**Marea:** Baja, va subiendo después que pase el pico del hidrograma.

**Nivel en el Tramo B:** Cota alrededor de 0.1 msnm

**Lluvia:** Comportamiento para lluvias de entre 2 y 25 años de periodo de recurrencia y de duración de 2 horas.

#### 4.6. Datos de digitalización para el uso del software SMWW

La siguiente información fue discernida a partir de informes entregados por la empresa Interagua y el Municipio de Guayaquil.

**Tabla 4. Datos para Simulación del Modelamiento del Sistema Pluvial y Ramal B del Estero Salado**

| Información del sistema pluvial  | Información hidrológica del sistema   | Información hidráulica del sistema   |
|--|---|--|
| a. Áreas de aportación que descargaría cada colector.<br>b. características de las tuberías que conectan los colectores.<br>c. Localización de los colectores. | a. Intensidad máxima de las precipitaciones<br>b. Curvas de mareas máxima<br>c. Periodo de retorno<br>d. Curvas IDF | a. Coeficiente de infiltración<br>b. Coeficiente de Manning<br>c. Permeabilidad<br>d. Cuenca: ancho, área, pendiente.<br>e. Datos de batimetría del Estero Salado. |

|                             |  |  |
|-----------------------------|--|--|
| d. Cotas de los colectores. |  |  |
|-----------------------------|--|--|

*Fuente: Saltos, 2022*

#### **4.7. Proceso de modelación del sistema en el software Storm Water Management Model (SMWW)**

1. El área total de la cuenca es dividida en pequeñas áreas que pertenecen al área de descarga al que cada colector realizará su descarga.



***Ilustración 15. Modelación de Áreas de Aportación del Sistema. [Saltos, 2022]***

2. Definir ubicación de los colectores en el área de estudio, estos se encargarán de recibir la escorrentía de las subcuencas. Para su funcionamiento, se ingresan características del mismo como cota invert y condición de borde. En el programa se especifican como "Joints", su función principal en la modelación es permitir unirse a dos o más colectores.



**Ilustración 16. Modelación de Nodos del Sistema. [Saltos, 2022]**

3. Unir el sistema por medio de tuberías, se ingresa detalles como cota de fondo, longitud, número de Manning, geometría de la sección transversal, diámetro. En el programa se especifican como “conduits”.



**Ilustración 17. Modelación de Conductos/Tuberías del Sistema. [Saltos, 2022]**

4. Se establecen los puntos de descarga, se definen características dependiendo del caso, en el proyecto, se usó la función de cota mínima y del ingreso de la marea. En el programa se especifica como “outfall”.



***Ilustración 18. Modelación del Ramal B del Estero Salado. [Saltos, 2022]***

El programa permite el ingreso de información según sea el caso de estudio, las especificaciones detalladas anteriormente pertenecen a los procesos necesarios para la simulación de la situación actual del ramal B del Estero Salado, con la finalidad de tener un resultado lo mas real a los fenómenos de inundación que se busca resolver.

#### **4.8. Proceso de modelación de los fenómenos hidrológicos en el sistema.**

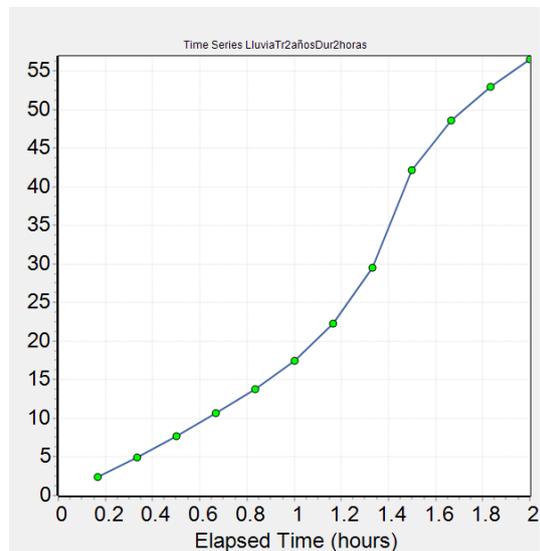
Luego de finalizar la esquematización del modelo, se procede a agregar los datos de precipitación y marea en el programa para que se puedan hacer las respectivas simulaciones. Para la precipitación se ingresarán los hidrogramas para los periodos de recurrencia de 2, 5, 10 y 25 años, las cuales se obtuvieron con las ecuaciones presentadas por Interagua y mencionadas previamente en este trabajo, dándonos como resultado las siguientes graficas:

- 2 AÑOS

**Tabla 5. Datos Precipitación de 2 horas para  $Tr = 2$  años.**

| TIEMPO | PRECIPITACIÓN |
|--------|---------------|
| 0:10   | 2.40          |
| 0:20   | 4.95          |
| 0:30   | 7.70          |
| 0:40   | 10.65         |
| 0:50   | 13.80         |
| 1:00   | 17.50         |
| 1:10   | 22.25         |
| 1:20   | 29.55         |
| 1:30   | 42.20         |
| 1:40   | 48.55         |
| 1:50   | 52.95         |
| 2:00   | 56.50         |

**Fuente: Saltos, 2022**



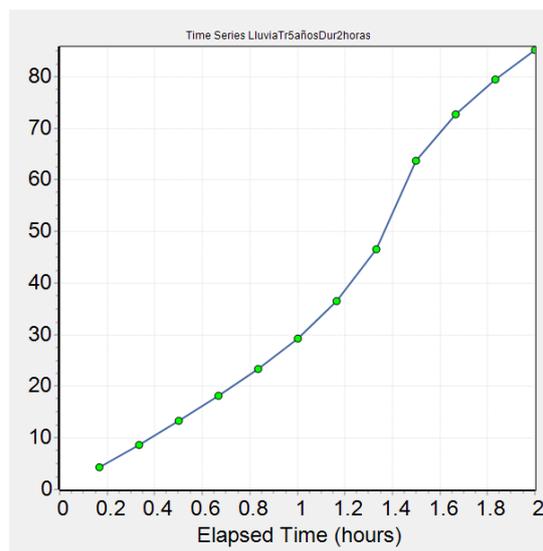
**Ilustración 19. Precipitación para 2 años de periodo de recurrencia. [Saltos, 2022]**

- 5 AÑOS

**Tabla 6. Datos Precipitación de 2 horas para  $Tr = 5$  años.**

| TIEMPO | PRECIPITACIÓN |
|--------|---------------|
| 0:10   | 4.25          |
| 0:20   | 8.70          |
| 0:30   | 13.35         |
| 0:40   | 18.25         |
| 0:50   | 23.45         |
| 1:00   | 29.30         |
| 1:10   | 36.45         |
| 1:20   | 46.55         |
| 1:30   | 63.75         |
| 1:40   | 72.75         |
| 1:50   | 79.50         |
| 2:00   | 85.15         |

**Fuente: Saltos, 2022**



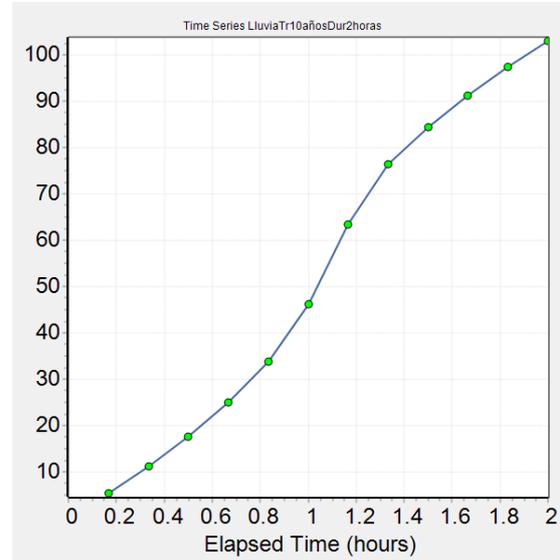
**Ilustración 20. Precipitación para 5 años de periodo de recurrencia. [Saltos, 2022]**

- 10 AÑOS

**Tabla 7. Datos Precipitación de 2 horas para  $Tr = 10$ .**

| TIEMPO | PRECIPITACIÓN |
|--------|---------------|
| 0:10   | 5.45          |
| 0:20   | 11.10         |
| 0:30   | 17.05         |
| 0:40   | 23.25         |
| 0:50   | 29.75         |
| 1:00   | 37.05         |
| 1:10   | 45.75         |
| 1:20   | 57.65         |
| 1:30   | 77.90         |
| 1:40   | 88.65         |
| 1:50   | 96.95         |
| 2:00   | 104.00        |

Fuente: Saltos, 2022



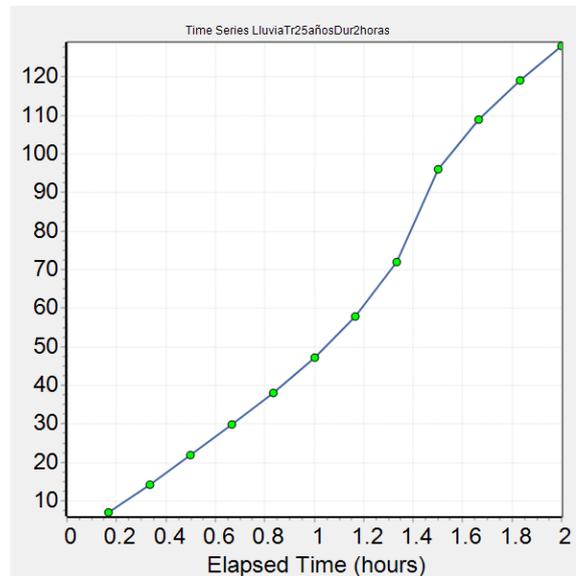
**Ilustración 21. Precipitación para 10 años de periodo de recurrencia. [Saltos, 2022]**

- 25 AÑOS

**Tabla 8. Datos Precipitación de 2 horas para  $Tr = 25$ .**

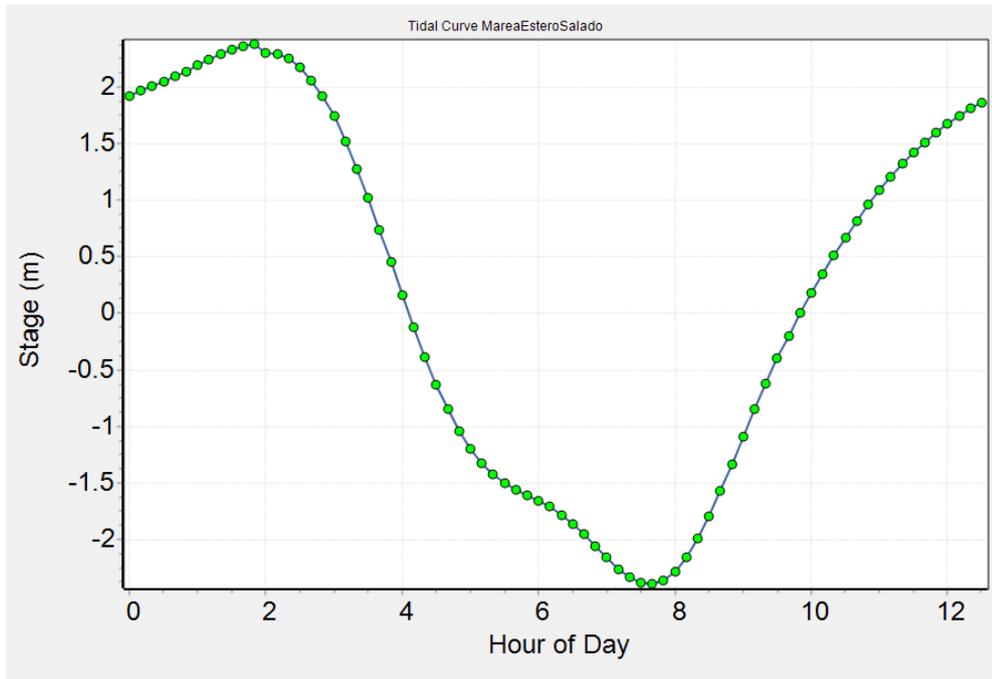
| TIEMPO | PRECIPITACIÓN |
|--------|---------------|
| 0:10   | 7.05          |
| 0:20   | 14.30         |
| 0:30   | 21.85         |
| 0:40   | 29.75         |
| 0:50   | 38.00         |
| 1:00   | 47.10         |
| 1:10   | 57.80         |
| 1:20   | 72.05         |
| 1:30   | 96.05         |
| 1:40   | 109.00        |
| 1:50   | 119.20        |
| 2:00   | 128.05        |

Fuente: Saltos, 2022



**Ilustración 22. Precipitación para 25 años de periodo de recurrencia. [Saltos, 2022]**

Para la curva de marea se ingresó los datos que fueron brindados por el INOCAR, se puede encontrar en el anexo 1 al final de este trabajo.



**Ilustración 23. Curva de Marea [Saltos, 2022]**

## 5. CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de ambos escenarios, se analizará el volumen de inundación que cada nodo sufrirá durante la simulación, y de estos se obtendrán los valores de inundación (hidrograma de inundación) que serán los metros cúbicos de fluidos que se saldrán del sistema en un intervalo de tiempo. De esta grafica se procederá a sacar el área bajo la curva para obtener el volumen total de inundación en el nodo y así se hará una sumatoria con todos los nodos que estén inundados para sacar el volumen total de inundación para un periodo de recurrencia dado.

La modelación otorga como resultados gráficos que tienen como variables, horas diarias en el eje Y, y volumen de inundación en el eje X. Estos gráficos permiten conocer el volumen total a través del cálculo del área bajo la curva usando la regla trapezoidal, que consiste en dividir el área total en varios trapecios de fácil cálculo de área y que estas sean sumadas al final.

Para el siguiente análisis se mostrarán una serie de ilustraciones como:

- La vista en planta del sistema ya modelado en el programa, en el cual se puede ver por un sistema de colores en qué estado se encuentran los nodos al momento de la simulación.
- El perfil del ramal B del Estero Salado con su respectiva batimetría para un mejor análisis y funcionamiento del sistema.
- Hidrograma en la sección de descarga, esto es el caudal o descarga que desembocara en el punto de descarga.
- Variación de nivel en la sección de descarga.
- Los perfiles de los colectores del sistema en donde se puede observar el nivel de agua que este llegara en la simulación, para observar los demás colectores se puede ir a los anexos de este trabajo.
- Hidrogramas de inundación en los nodos, de los cuales se obtendrán los volúmenes de inundación de cada nodo.

## 5.1. Escenario 1: Simulación Sin Proyecto

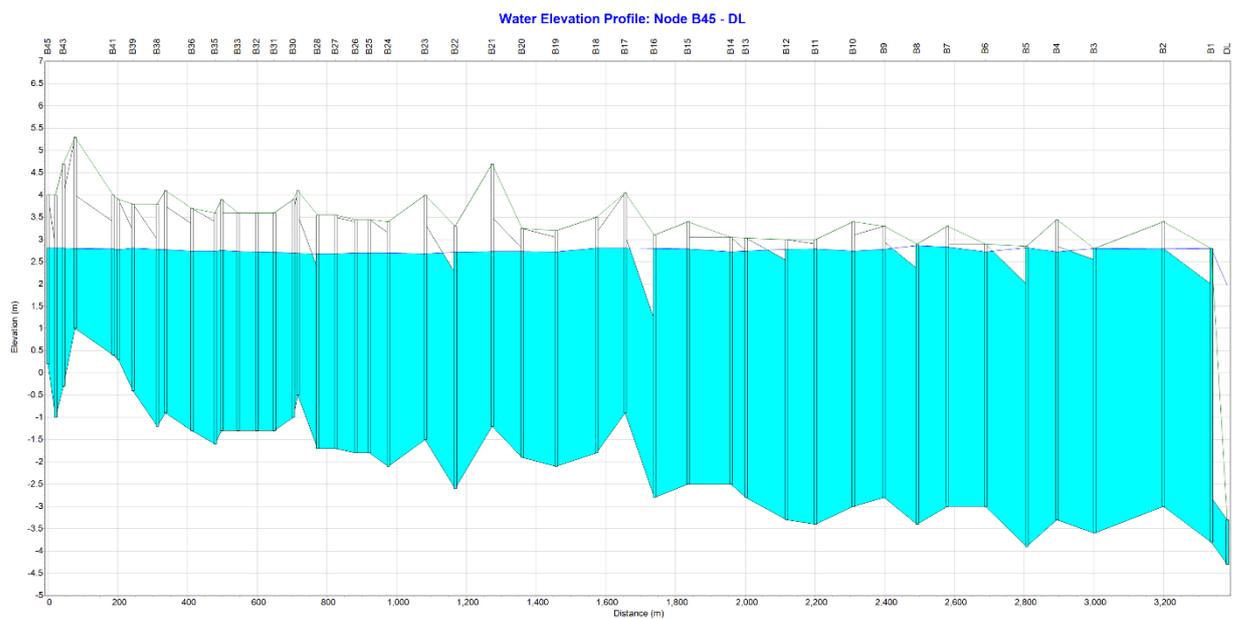
### 5.1.1. Periodo de Recurrencia 2 años

#### 5.1.1.1. Mapa de Simulación Ejecutada



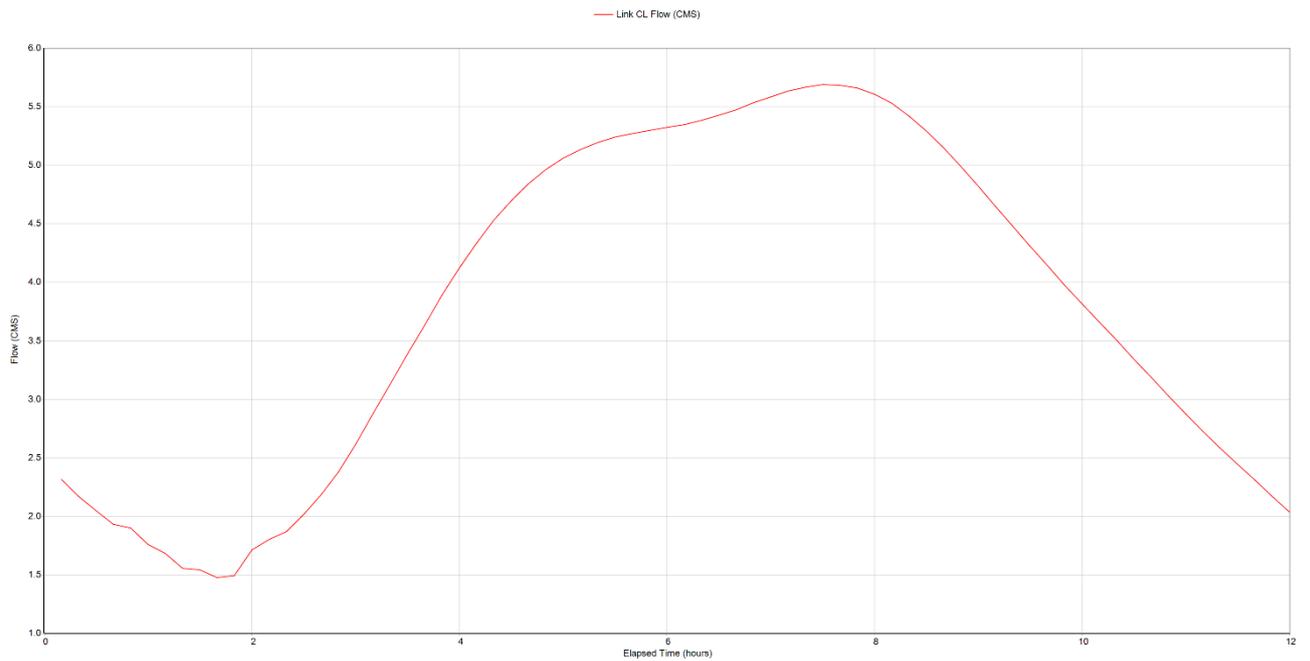
*Ilustración 24. Vista en planta del sistema post simulación con TR= 2 años. [Saltos, 2022]*

#### 5.1.1.2. Perfil Ramal B del Estero Salado



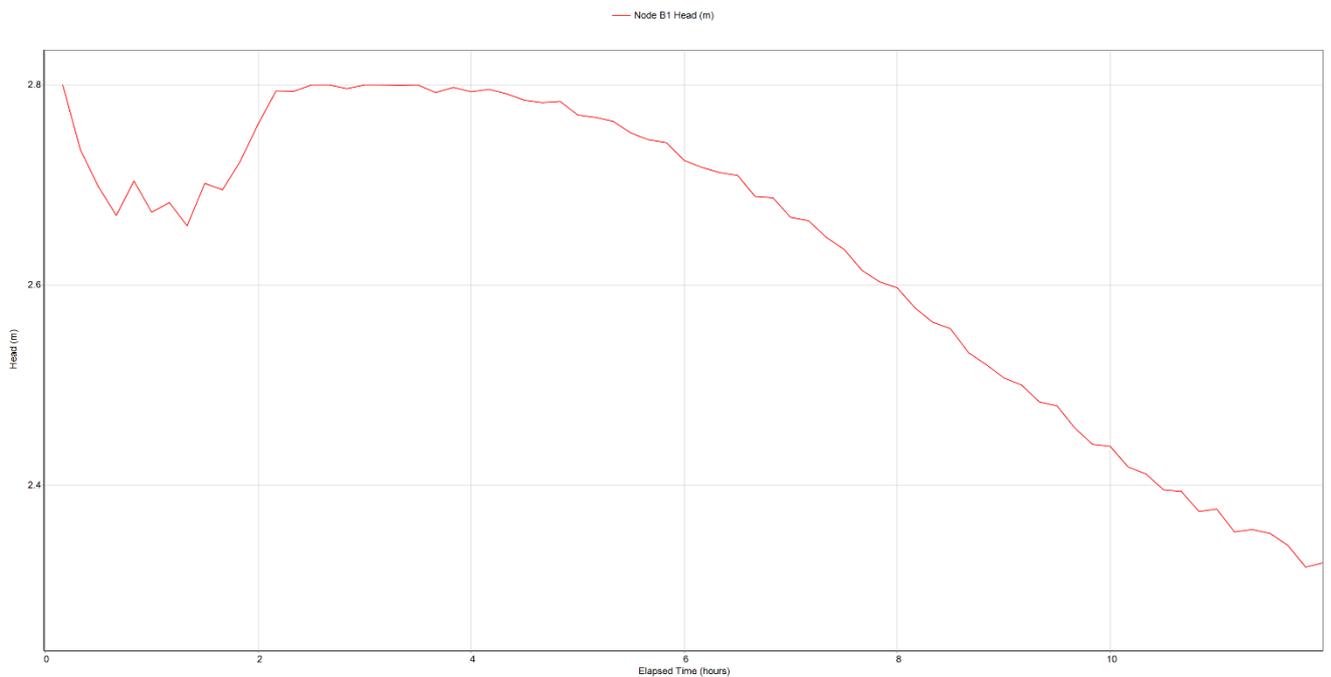
*Ilustración 25. Perfil del ramal B del Estero Salado con TR=2 años. [Saltos, 2022]*

### 5.1.1.3. Hidrograma en Sección de Descarga



**Ilustración 26. Hidrograma en la sección de descarga con TR= 2 años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.1.4. Variación de Niveles en Sección de Descarga



**Ilustración 27. Variación de nivel en sección de descarga con TR= 2 años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.1.5. Perfil del Colector C2

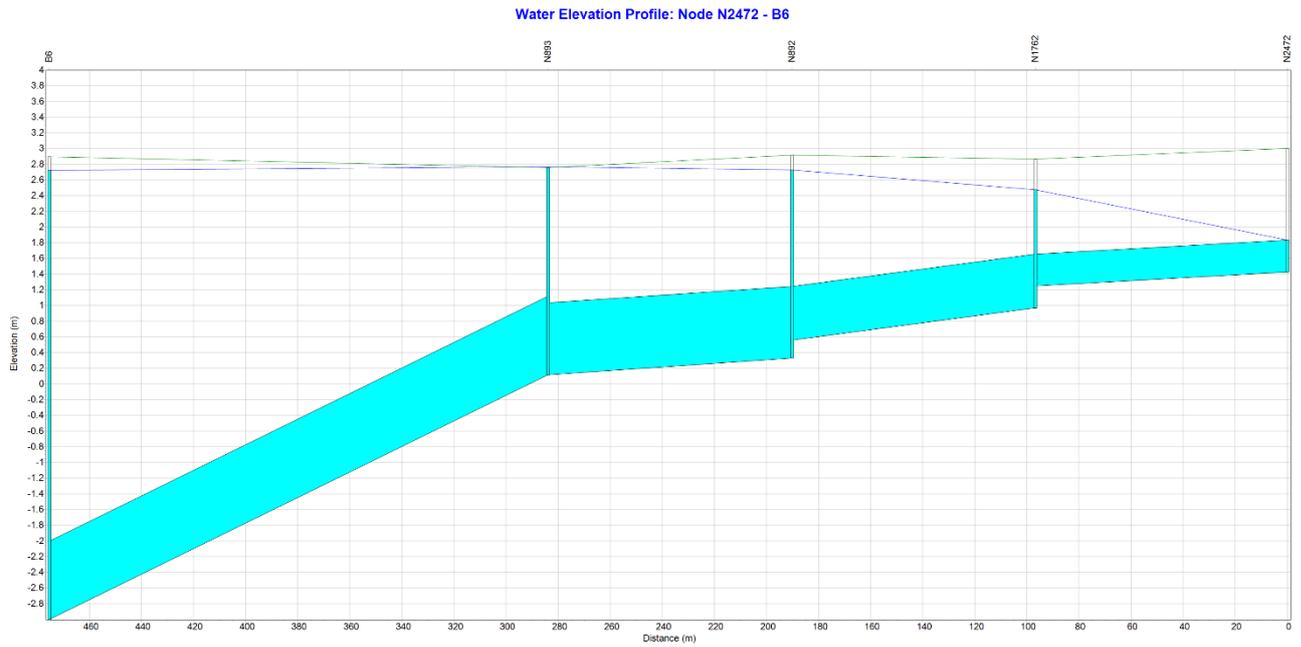


Ilustración 28. Vista en perfil del colector C2 con TR= 2 años. [Saltos, 2022]

### 5.1.1.6. Perfil del Colector C5

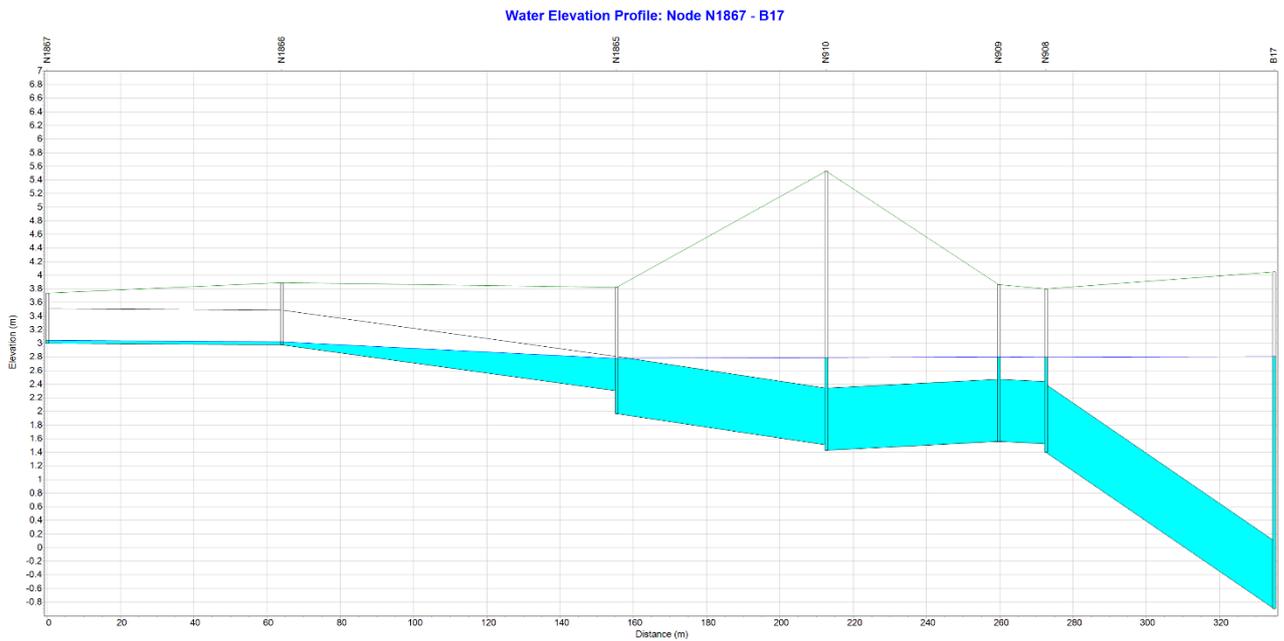


Ilustración 29. Vista en perfil del colector C5 con TR= 2 años. [Saltos, 2022]

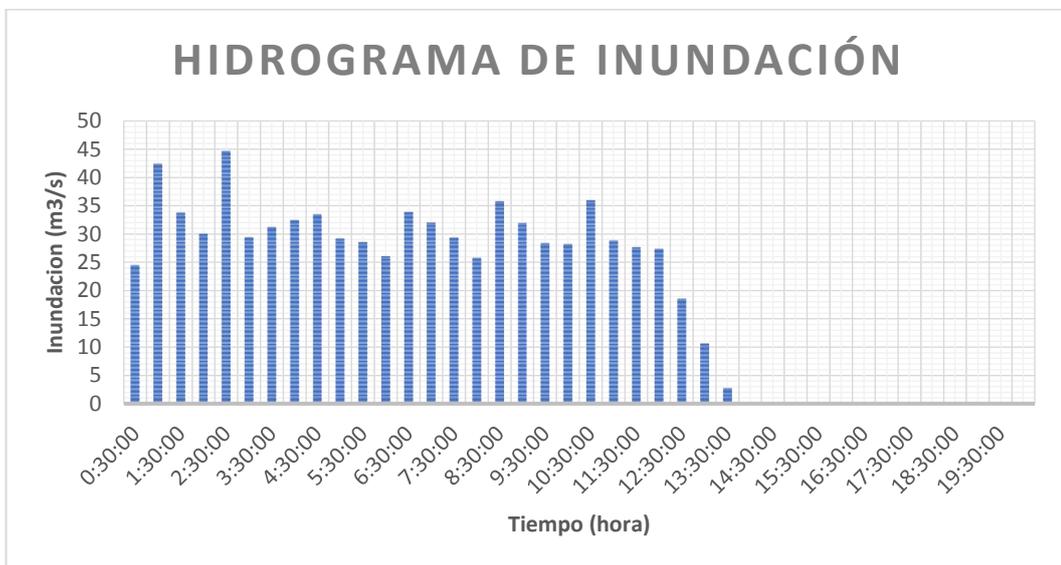
### 5.1.1.7. Hidrograma de Inundación en Nodo B3



**Ilustración 30. Hidrograma de inundación con TR= 2 años en el nodo B3. [Saltos, 2022]**

*Volumen de Inundación = 54865 m<sup>3</sup>*

### 5.1.1.8. Hidrograma de Inundación en Nodo N4140



**Ilustración 31. Hidrograma de inundación con TR= 2 años en el nodo N4140. [Saltos, 2022]**

*Volumen de Inundación = 5169 m<sup>3</sup>*

### 5.1.1.9. Hidrograma de Inundación en Nodo N2389



**Ilustración 32. Hidrograma de inundación con TR= 2 años en el nodo N2389. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 2625 \text{ m}^3$$

### 5.1.1.10. Hidrograma de Inundación en Nodo N1770



**Ilustración 33. Hidrograma de inundación con TR= 2 años en el nodo N1770. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 1261 \text{ m}^3$$

#### **5.1.1.11. Volumen Total de Inundación**

Para calcular el volumen total de inundación del sistema para un periodo de retorno determinado, se procedió a hacer una sumatoria del volumen de cada uno de los nodos del modelo, la tabla con los valores del volumen de inundación de cada nodo se puede encontrar en los anexos de este trabajo.

$$\text{Volumen de Inundación Total} = 203958 \text{ m}^3$$

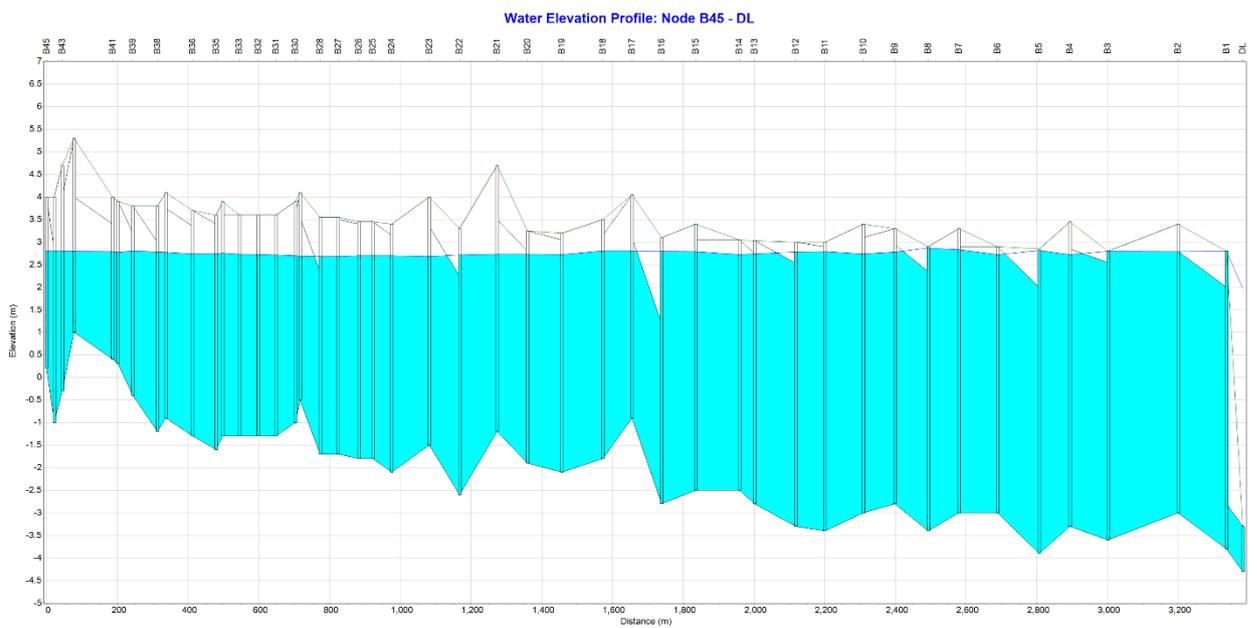
## 5.1.2. Periodo de Recurrencia 5 años

### 5.1.2.1. Mapa de Simulación Ejecutada



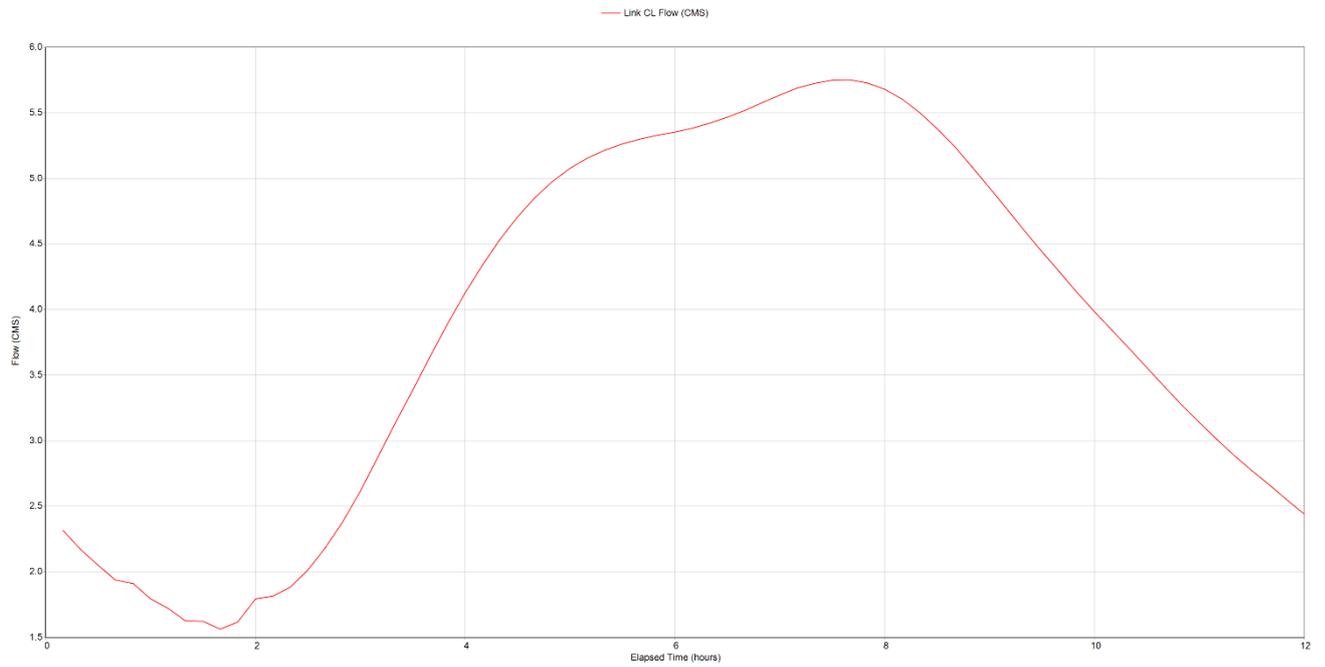
**Ilustración 34. Vista en planta del sistema post simulación con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.2.2. Perfil Ramal B del Estero Salado



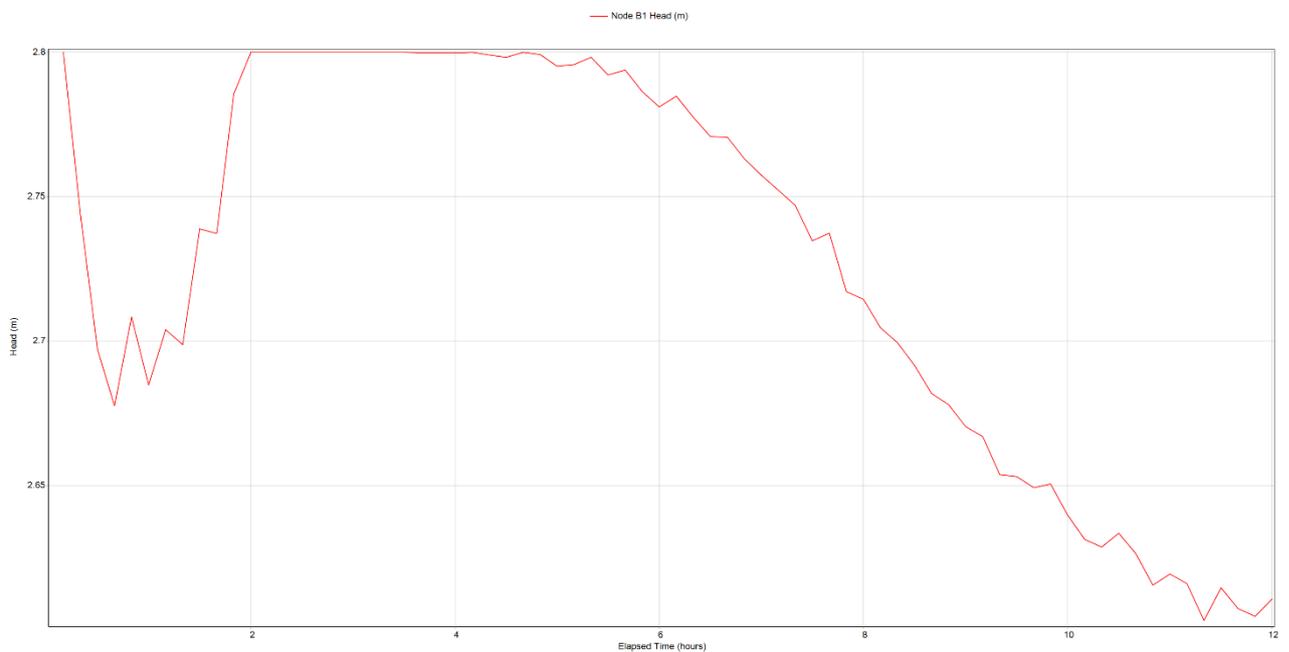
**Ilustración 35. Perfil del ramal B del Estero Salado con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.2.3. Hidrograma en Sección de Descarga



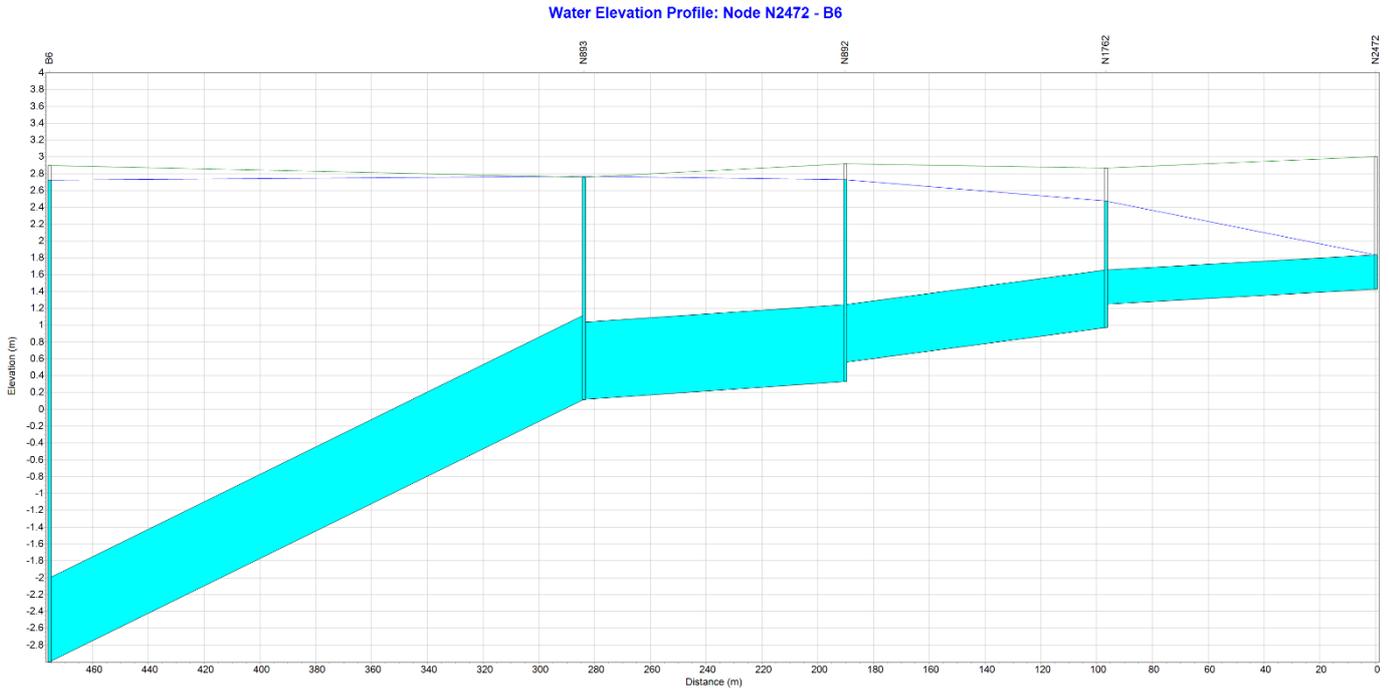
**Ilustración 36. Hidrograma en la sección de descarga con  $T_r = 5$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.2.4. Variación de Niveles en Sección de Descarga



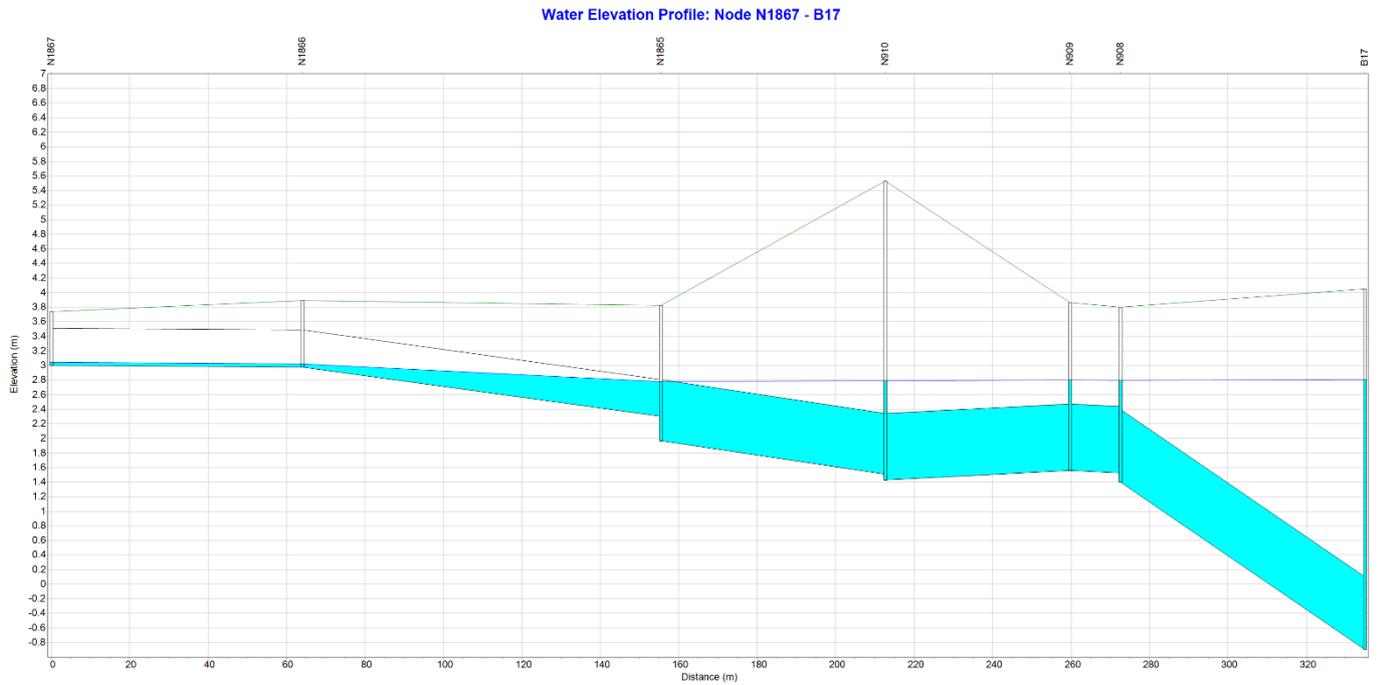
**Ilustración 37. Variación de nivel en sección de descarga con  $T_r = 5$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.2.5. Perfil del Colector C2



**Ilustración 38. Vista en perfil del colector C2 con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.2.6. Perfil del Colector C5



**Ilustración 39. Vista en perfil del colector C5 con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]**

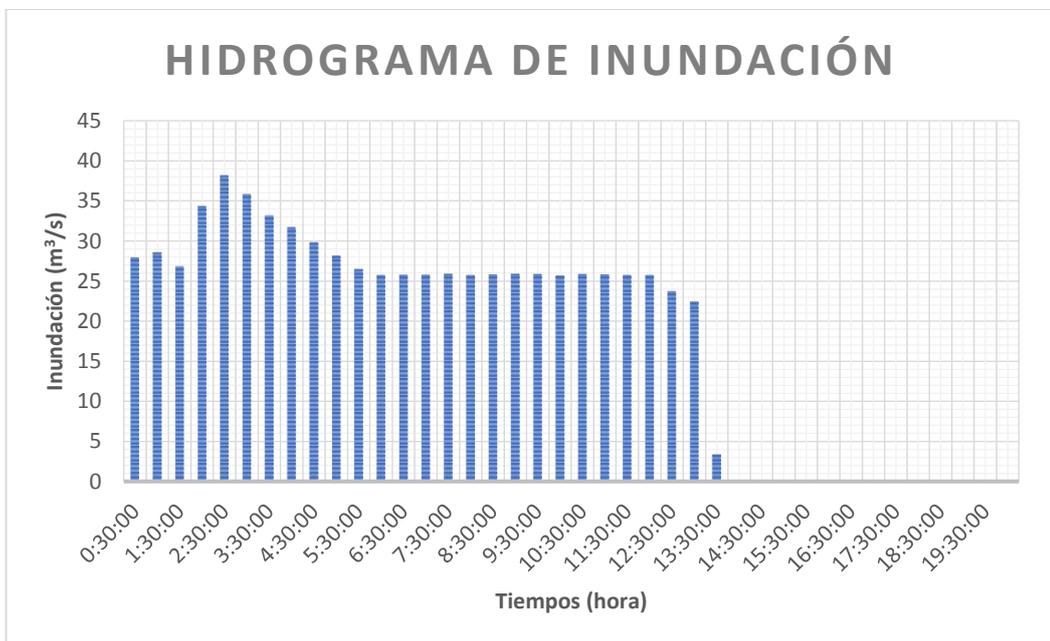
### 5.1.2.7. Hidrograma de Inundación en Nodo B3



**Ilustración 40. Hidrograma de inundación con  $T_r=5$  años en el nodo B3. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 90360 \text{ m}^3$$

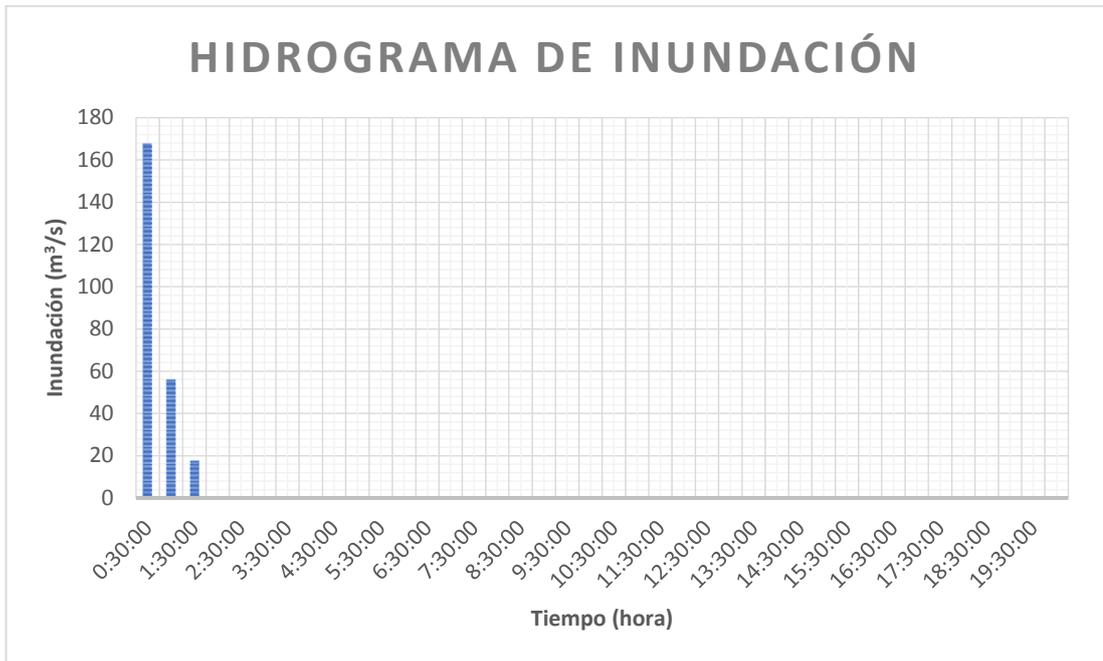
### 5.1.2.8. Hidrograma de Inundación en Nodo N2476



**Ilustración 41. Hidrograma de inundación con  $T_r=5$  años en el nodo N2476. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 6782 \text{ m}^3$$

### 5.1.2.9. Hidrograma de Inundación en Nodo N4097



**Ilustración 42. Hidrograma de inundación con  $T_r=5$  años en el nodo N4097. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 2655 \text{ m}^3$$

### 5.1.2.10. Hidrograma de Inundación en Nodo N3511



**Ilustración 43. Hidrograma de inundación con  $T_r=5$  años en el nodo N3511. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 1267 \text{ m}^3$$

#### **5.1.2.11. Volumen Total de Inundación**

Para calcular el volumen total de inundación del sistema para un periodo de retorno determinado, se procedió a hacer una sumatoria del volumen de cada uno de los nodos del modelo, la tabla con los valores del volumen de inundación de cada nodo se puede encontrar en los anexos de este trabajo.

$$\text{Volumen de Inundación Total} = 367191 \text{ m}^3$$

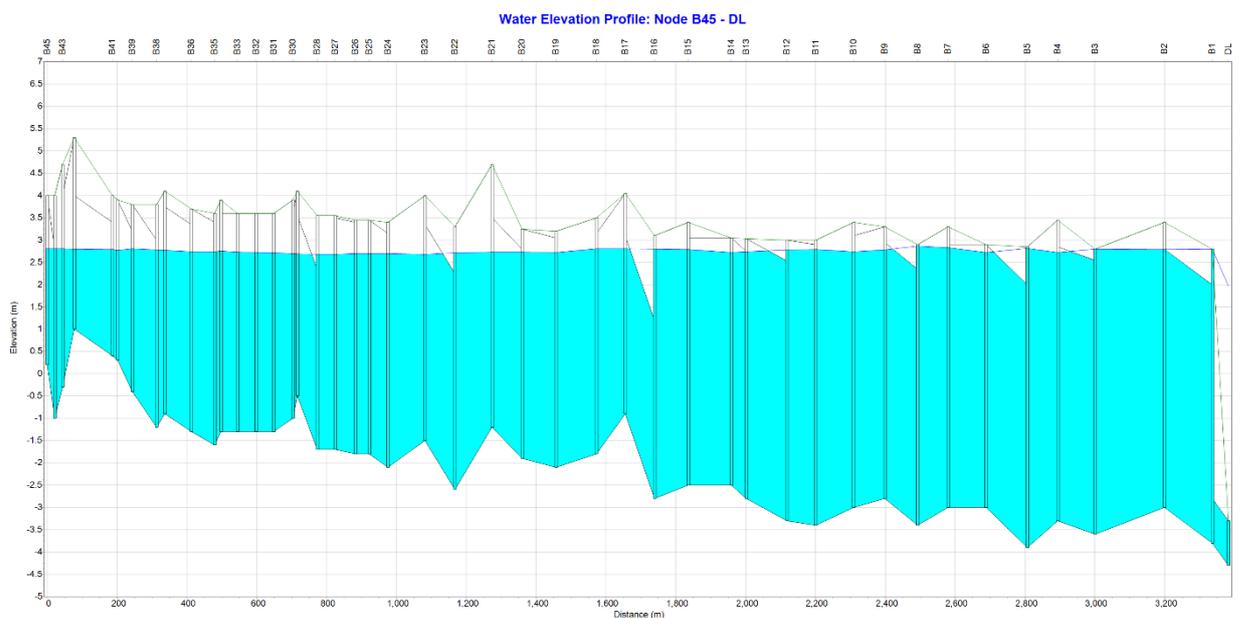
### 5.1.3. Periodo de Recurrencia 10 años

#### 5.1.3.1. Mapa de Simulación Ejecutada



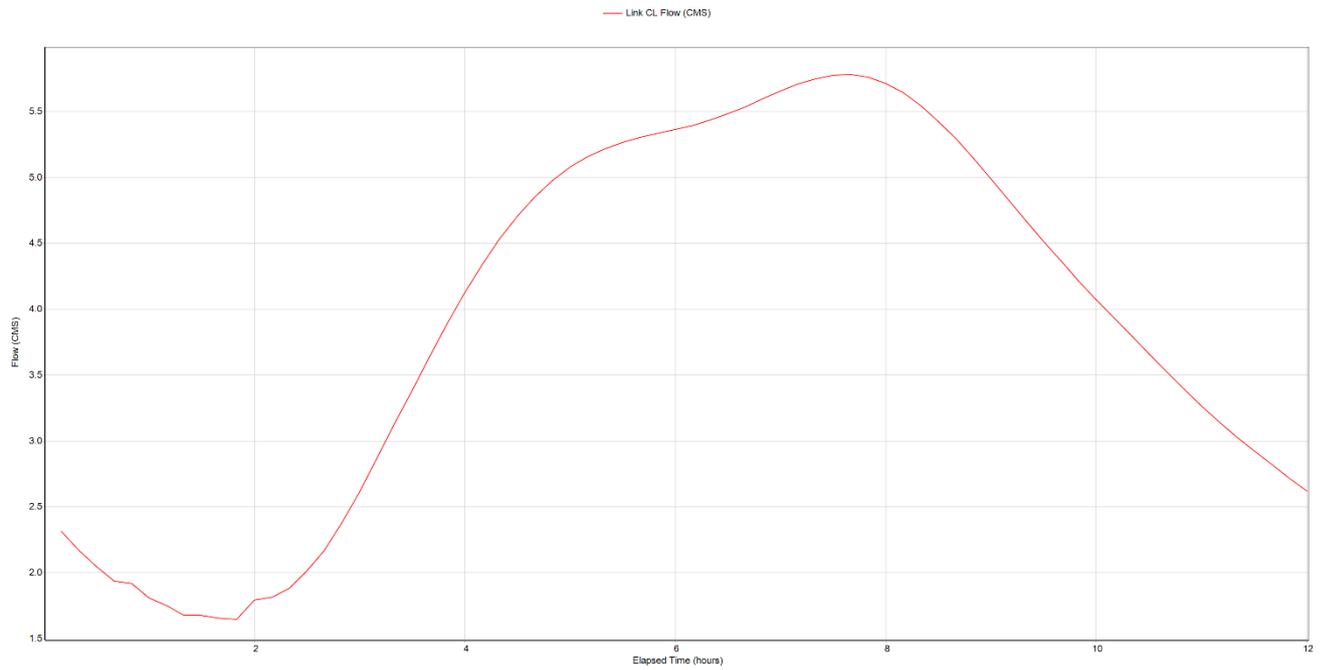
**Ilustración 44. Vista en planta del sistema post simulación con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]**

#### 5.1.3.2. Perfil Ramal B del Estero Salado



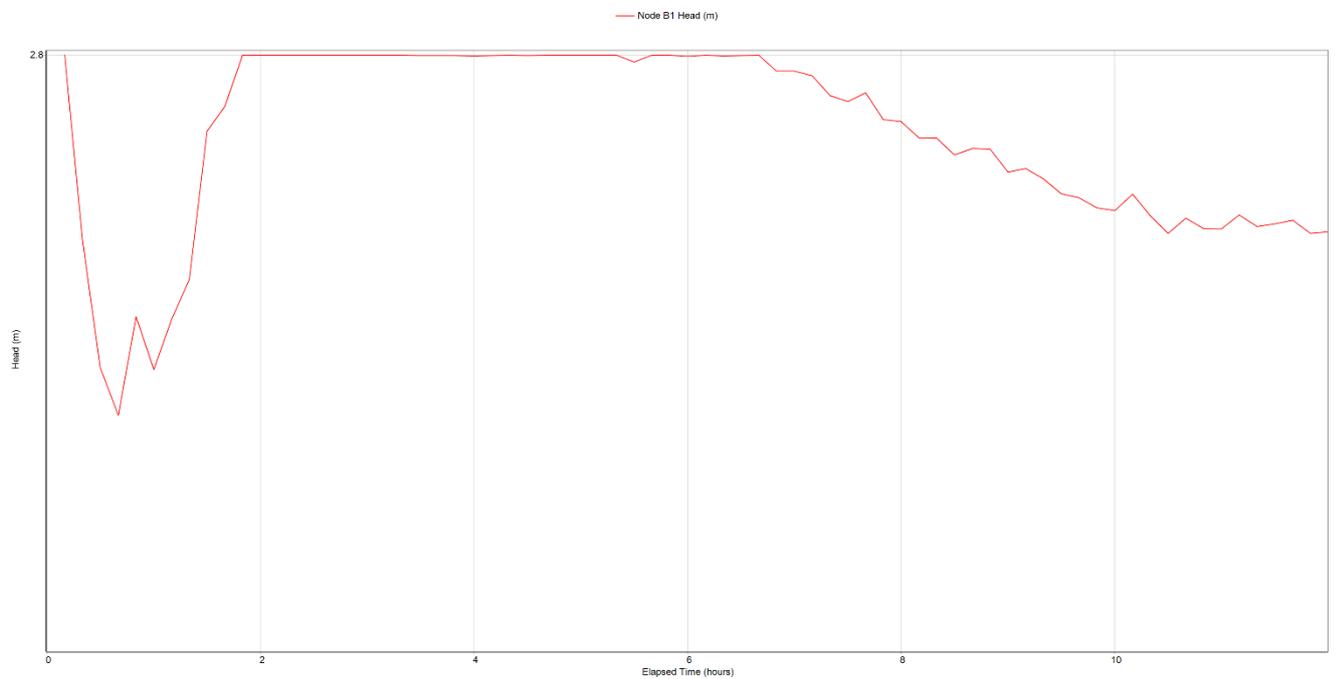
**Ilustración 45. Perfil del ramal B del Estero Salado con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.3.3. Hidrograma en Sección de Descarga



**Ilustración 46. Hidrograma en la sección de descarga con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.3.4. Variación de Niveles en Sección de Descarga



**Ilustración 47. Variación de nivel en sección de descarga con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.3.5. Perfil del Colector C2

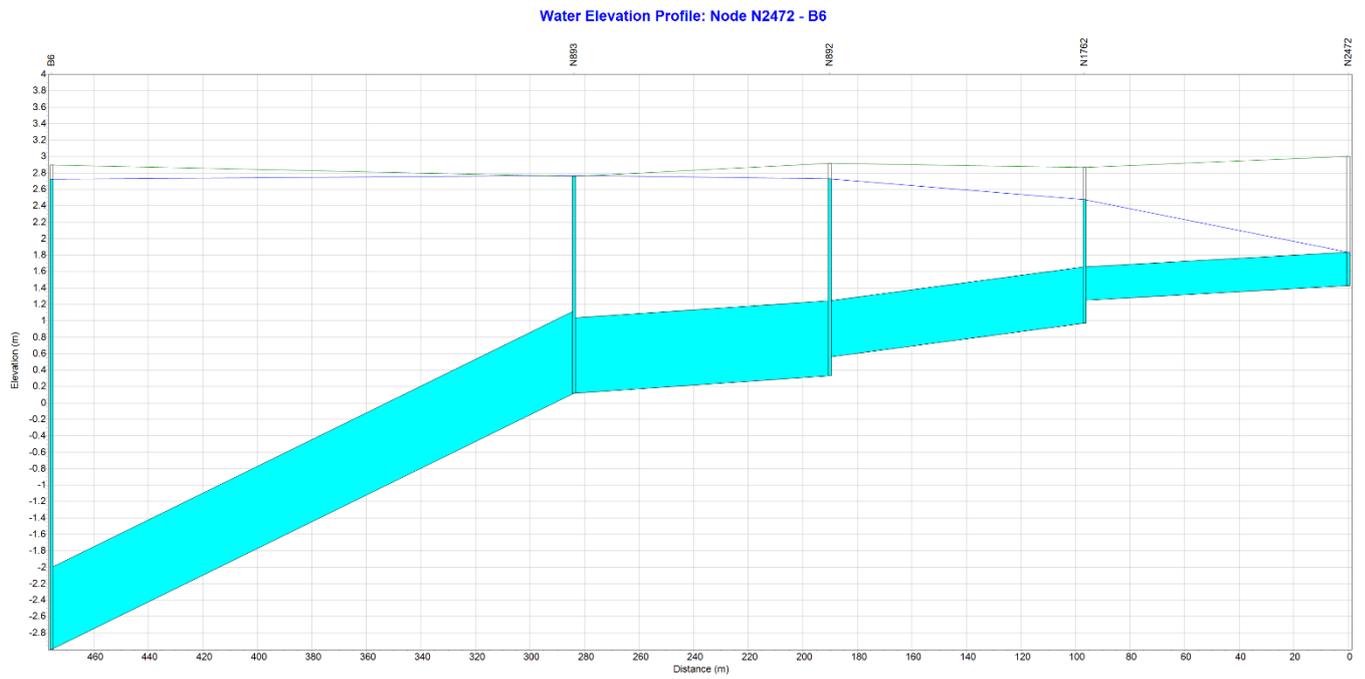


Ilustración 48. Vista en perfil del colector C2 con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]

### 5.1.3.6. Perfil del Colector C5

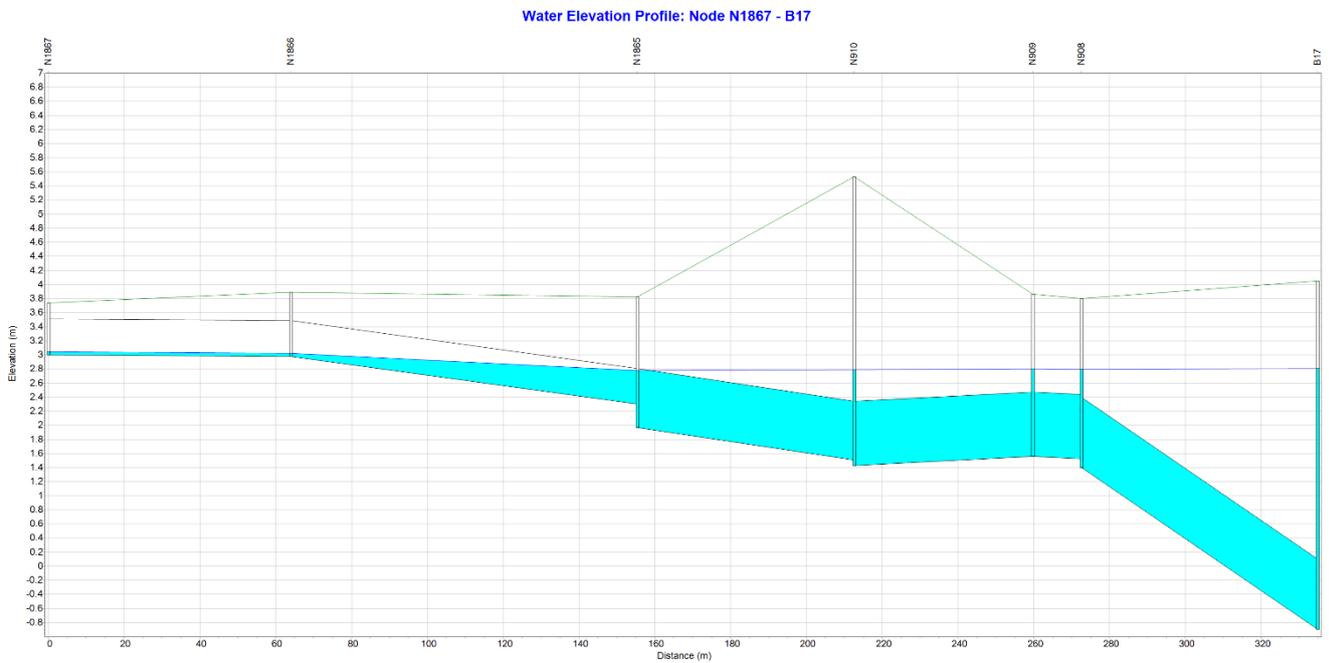
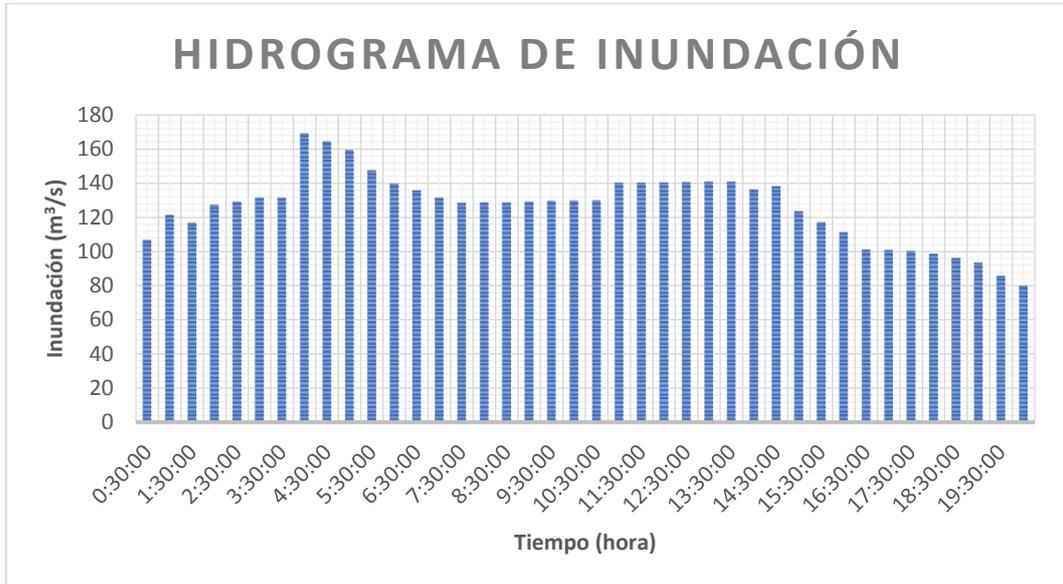


Ilustración 49. Vista en perfil del colector C5 con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]

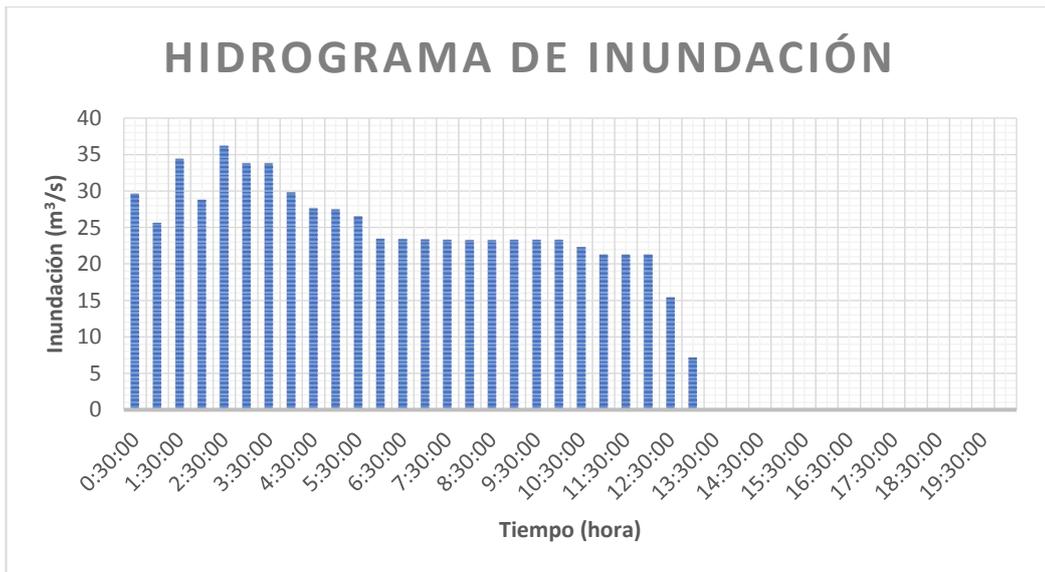
### 5.1.3.7. Hidrograma de Inundación en Nodo B3



**Ilustración 50. Hidrograma de inundación con  $T_r= 10$  años en el nodo B3. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 131124 \text{ m}^3$$

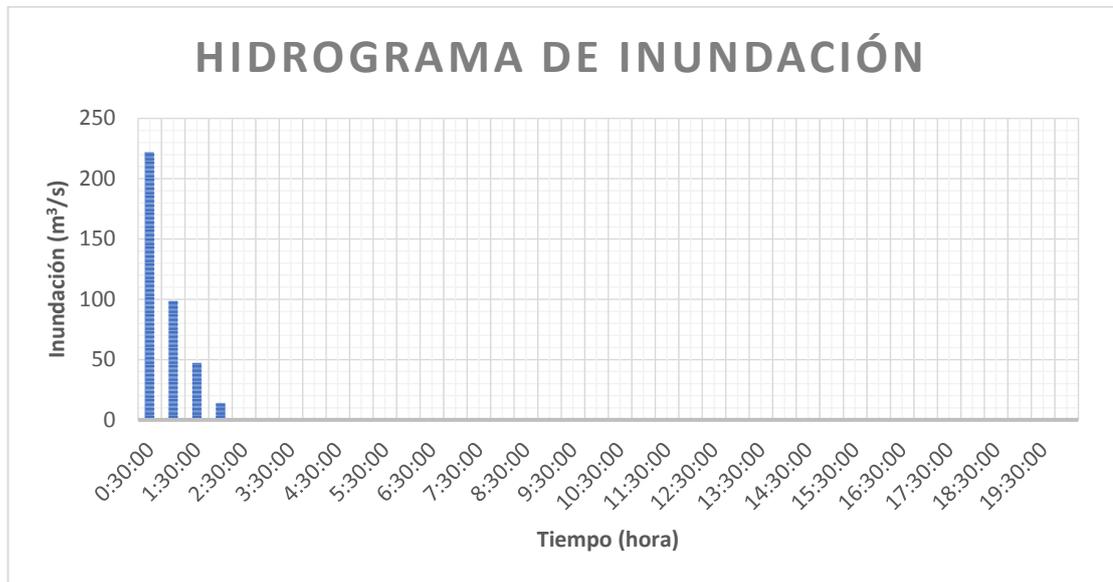
### 5.1.3.8. Hidrograma de Inundación en Nodo N4140



**Ilustración 51. Hidrograma de inundación con  $T_r= 10$  años en el nodo N4140. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 9551 \text{ m}^3$$

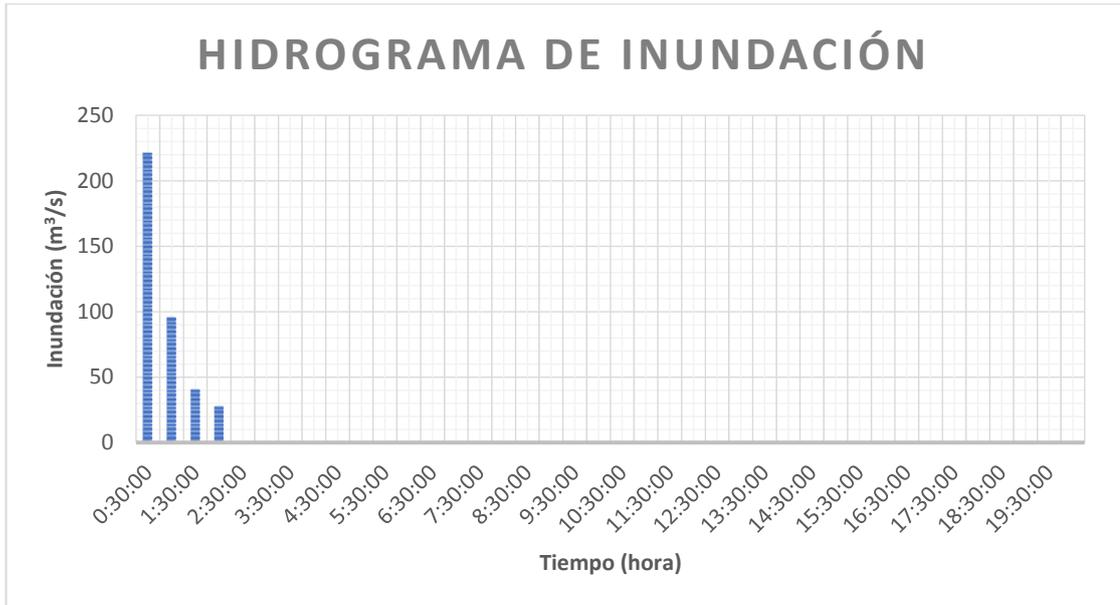
### 5.1.3.9. Hidrograma de Inundación en Nodo N2193



**Ilustración 52. Hidrograma de inundación con  $T_r = 10$  años en el nodo N2193. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 2341 \text{ m}^3$$

### 5.1.3.10. Hidrograma de Inundación en Nodo N2249



**Ilustración 53. Hidrograma de inundación con  $T_r = 10$  años en el nodo N2249. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 1339 \text{ m}^3$$

#### 5.1.3.11. Volumen Total de Inundación

Para calcular el volumen total de inundación del sistema para un periodo de retorno determinado, se procedió a hacer una sumatoria del volumen de cada uno de los nodos del modelo, la tabla con los valores del volumen de inundación de cada nodo se puede encontrar en los anexos de este trabajo.

$$\text{Volumen de Inundación Total} = 550450 \text{ m}^3$$

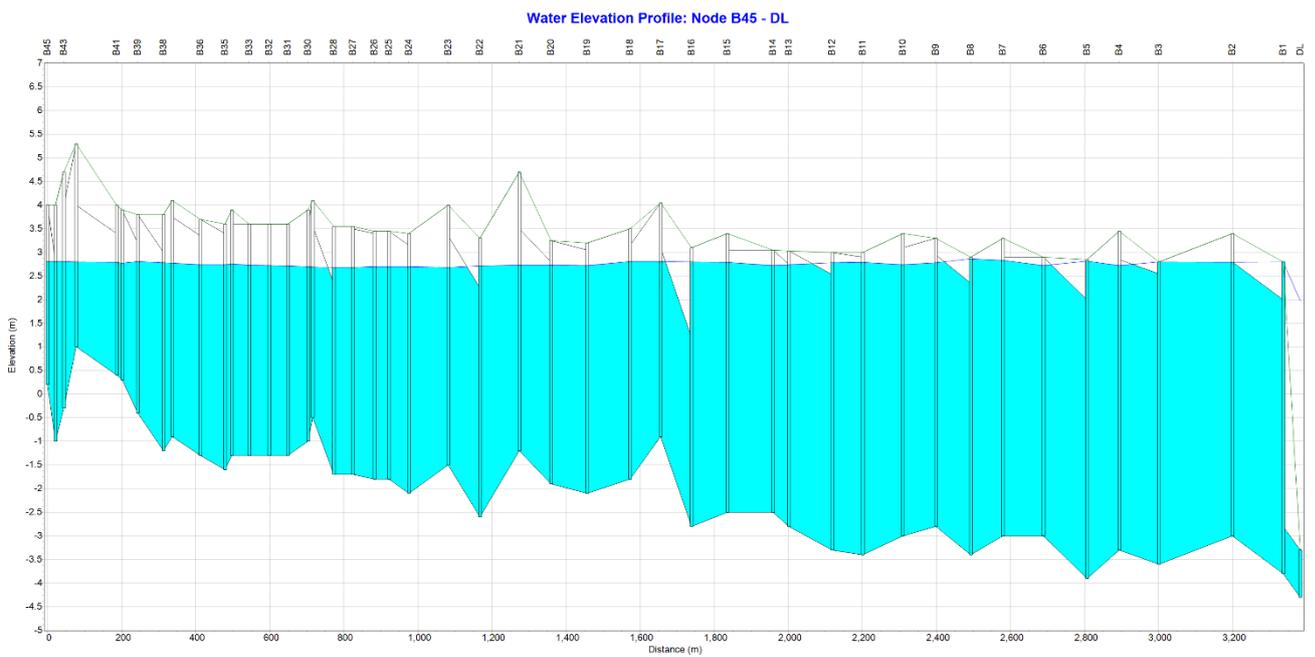
### 5.1.4. Periodo de Recurrencia 25 años

#### 5.1.4.1. Mapa de Simulación Ejecutada



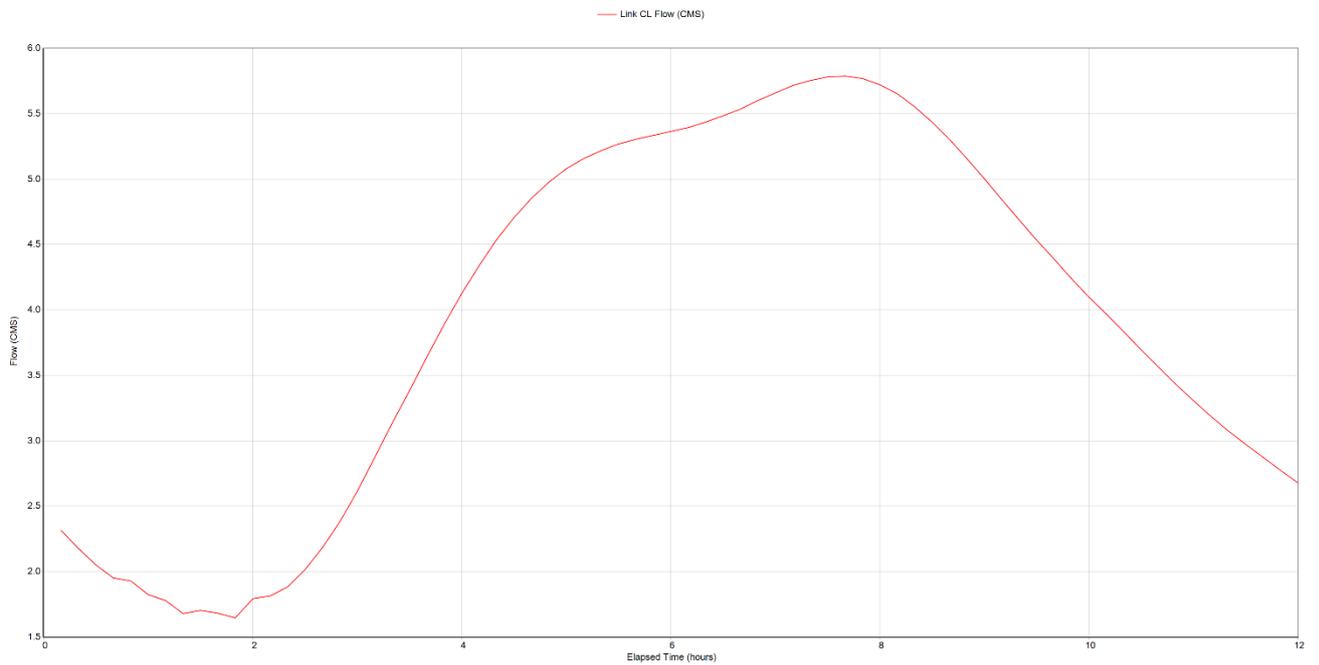
**Ilustración 54. Vista en planta del sistema post simulación con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]**

#### 5.1.4.2. Perfil Ramal B del Estero Salado



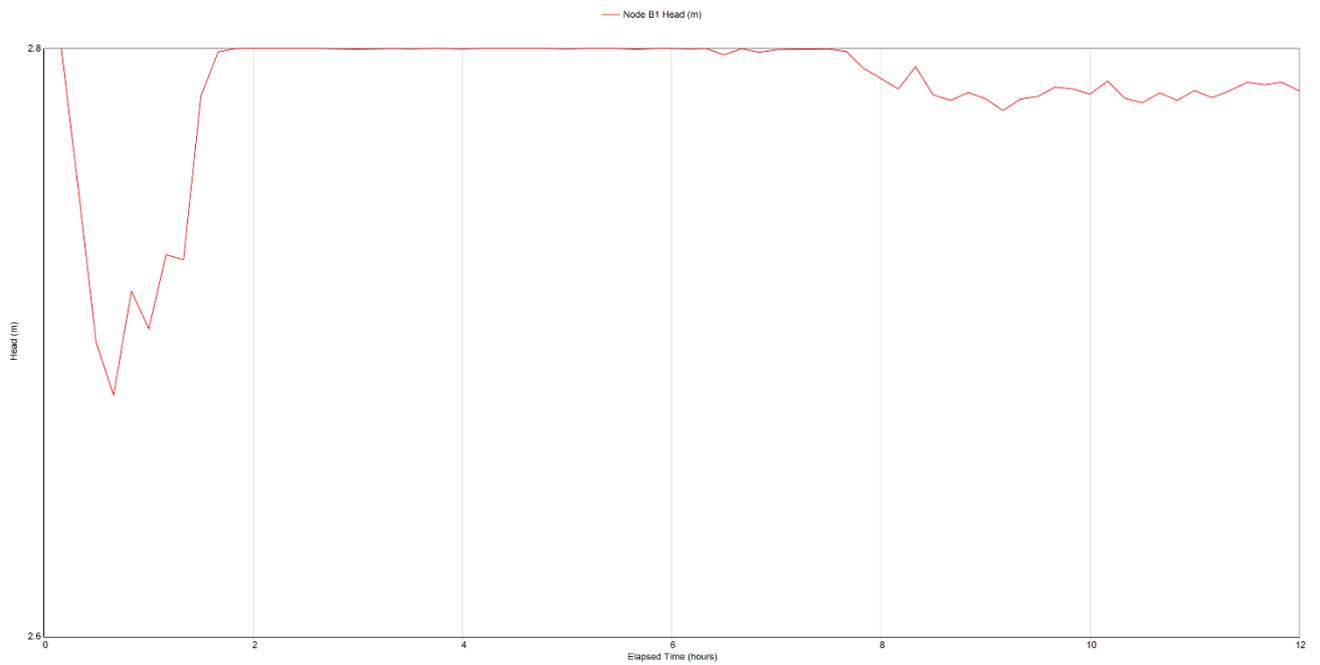
**Ilustración 55. Perfil del ramal B del Estero Salado con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.4.3. Hidrograma en Sección de Descarga



**Ilustración 56. Hidrograma en la sección de descarga con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.4.4. Variación de Niveles en Sección de Descarga



**Ilustración 57. Variación de nivel en sección de descarga con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.1.4.5. Perfil del Colector C2

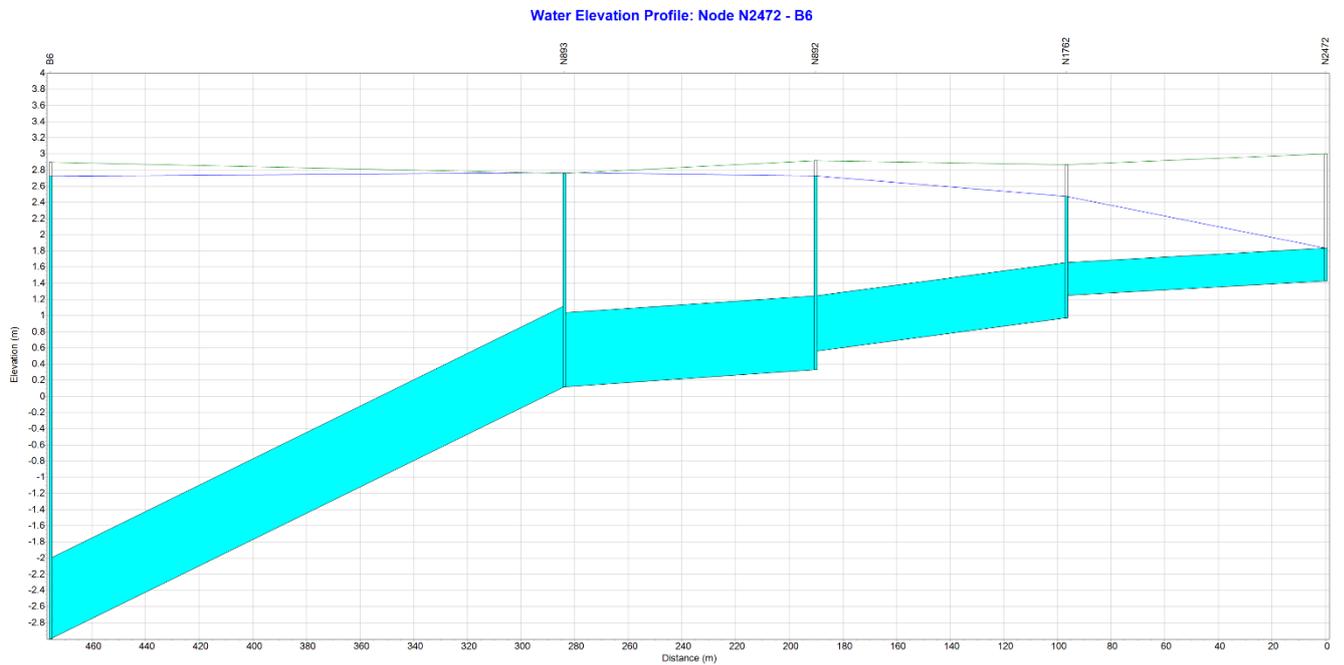


Ilustración 58. Vista en perfil del colector C2 con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]

### 5.1.4.6. Perfil del Colector C5

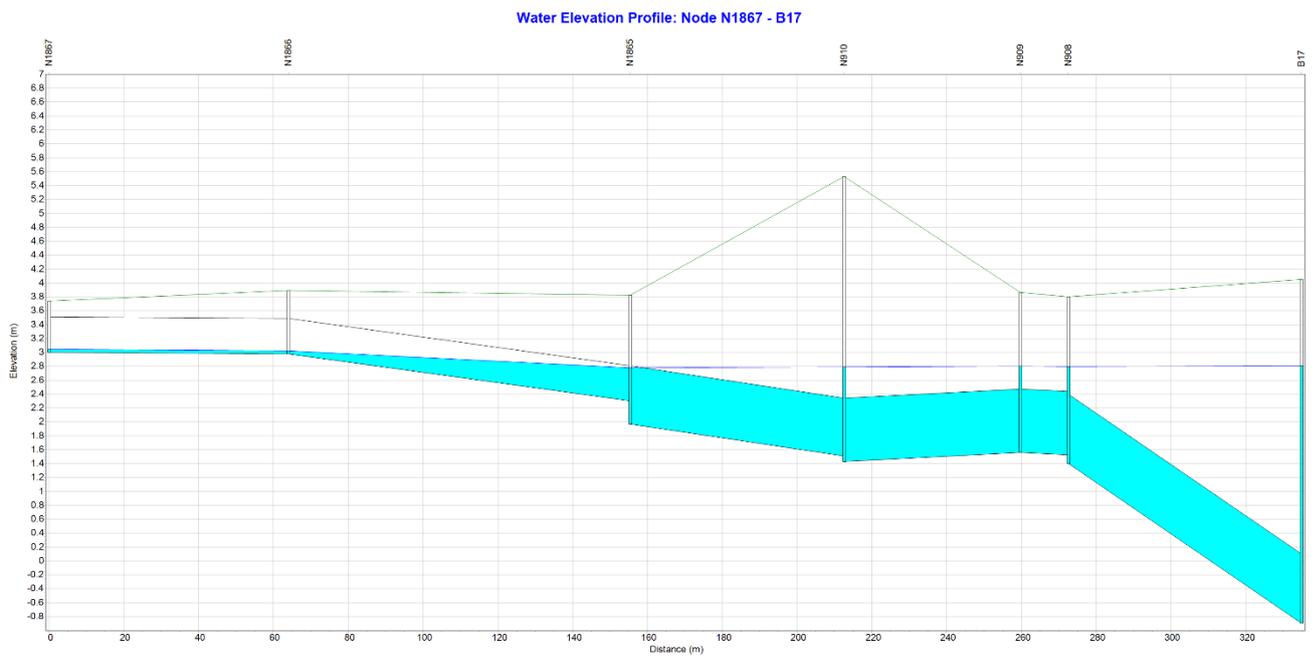
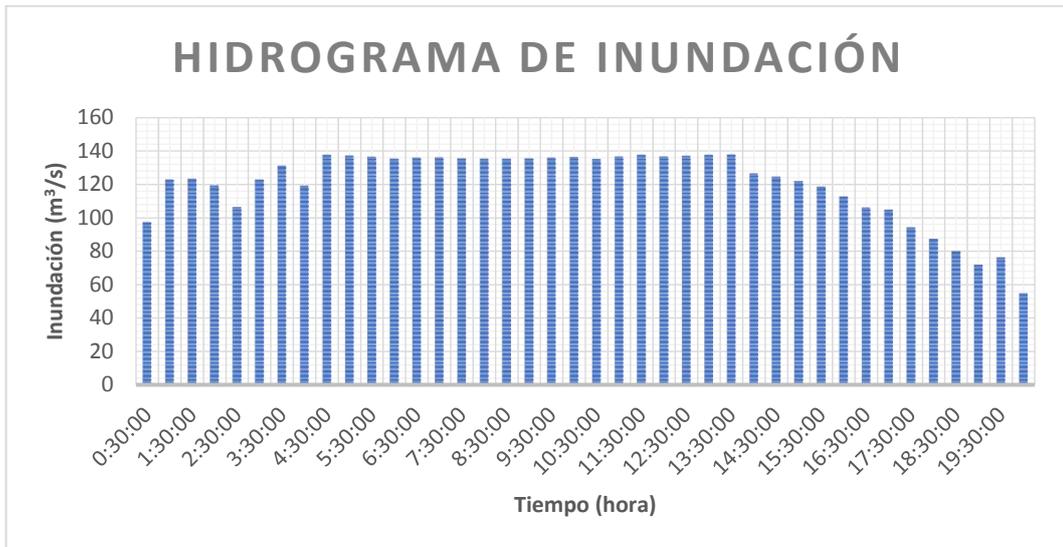


Ilustración 59. Vista en perfil del colector C5 con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]

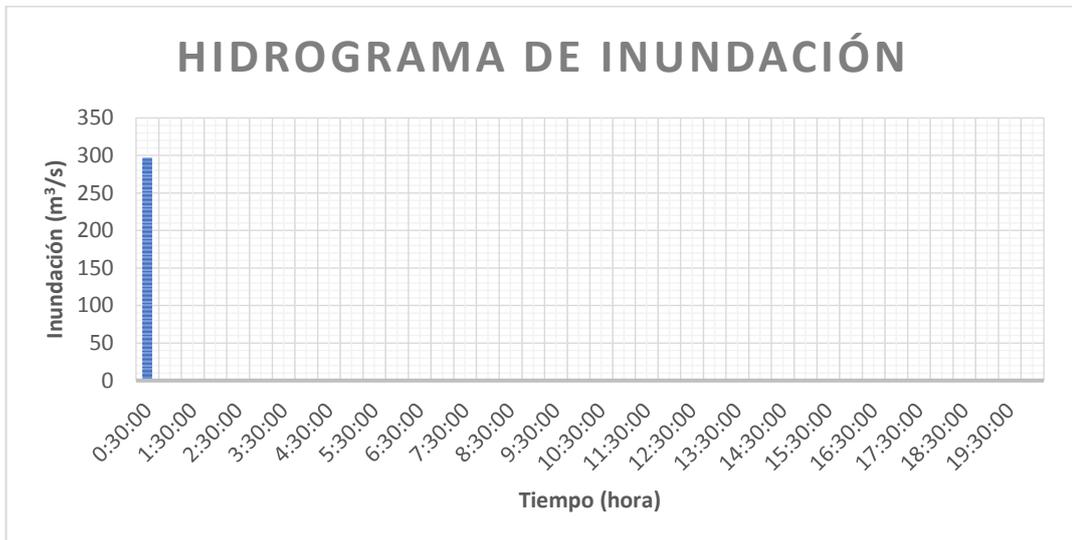
### 5.1.4.7. Hidrograma de Inundación en Nodo B3



**Ilustración 60. Hidrograma de inundación con  $T_r= 25$  años en el nodo B3. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 153312 \text{ m}^3$$

### 5.1.4.8. Hidrograma de Inundación en Nodo N4101



**Ilustración 61. Hidrograma de inundación con  $T_r= 25$  años en el nodo N4101. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 2196 \text{ m}^3$$

#### 5.1.4.9. Hidrograma de Inundación en Nodo N4138



**Ilustración 62. Hidrograma de inundación con  $T_r=25$  años en el nodo N4138. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 12551 \text{ m}^3$$

#### 5.1.4.10. Hidrograma de Inundación en Nodo N4097



**Ilustración 63. Hidrograma de inundación con  $T_r=25$  años en el nodo N4097. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 5703 \text{ m}^3$$

#### **5.1.4.11. Volumen Total de Inundación**

Para calcular el volumen total de inundación del sistema para un periodo de retorno determinado, se procedió a hacer una sumatoria del volumen de cada uno de los nodos del modelo, la tabla con los valores del volumen de inundación de cada nodo se puede encontrar en los anexos de este trabajo.

$$\text{Volumen de Inundación Total} = 641825 \text{ m}^3$$

## 5.2. Escenario 2: Simulación Con Proyecto

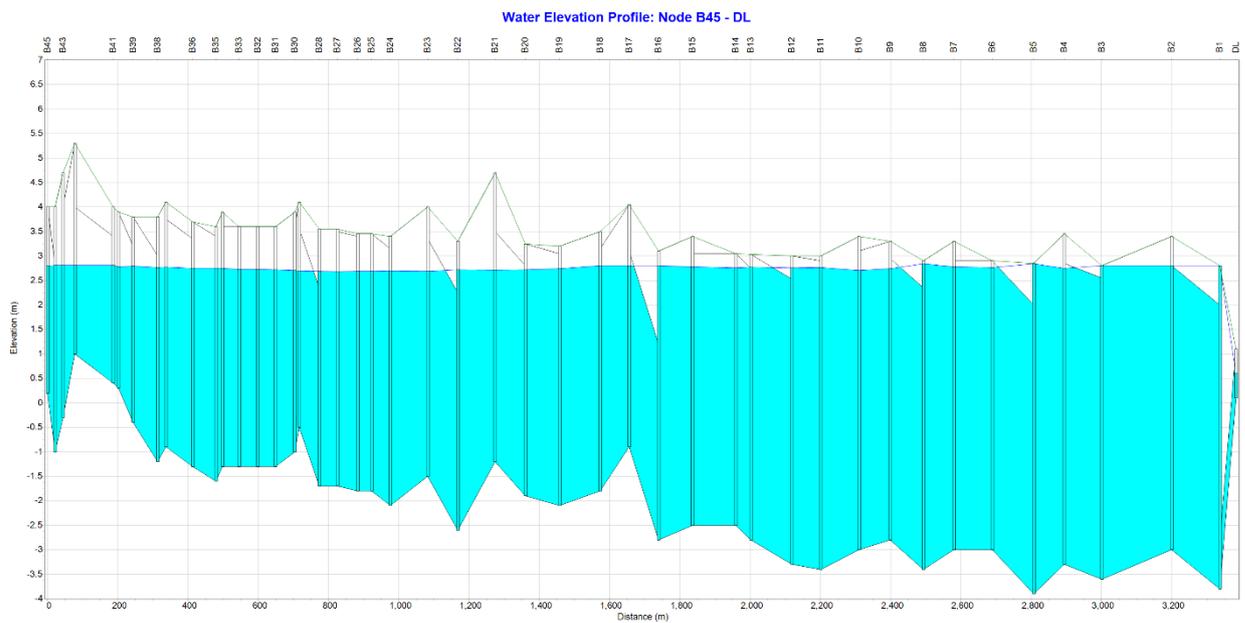
### 5.2.1. Periodo de Recurrencia 2 años

#### 5.2.1.1. Mapa de Simulación Ejecutada



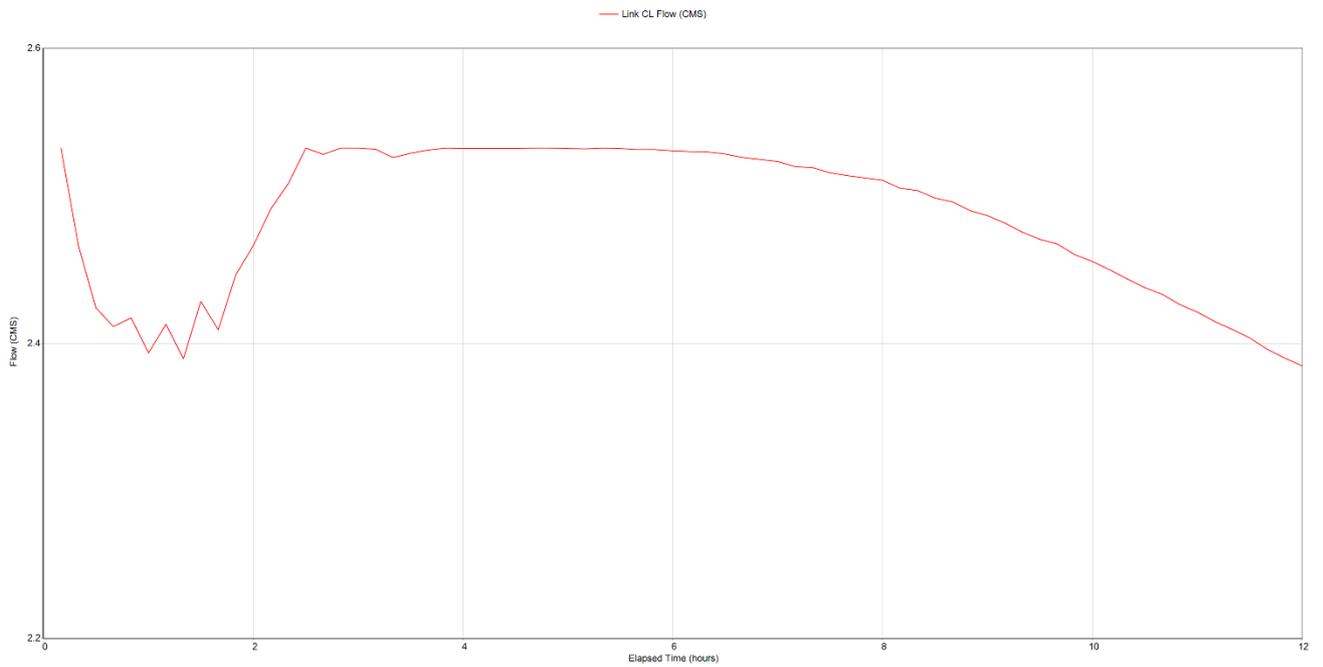
*Ilustración 64. Vista en planta del sistema post simulación con  $T_r=2$  años. [Saltos, 2022]*

#### 5.2.1.2. Perfil Ramal B del Estero Salado



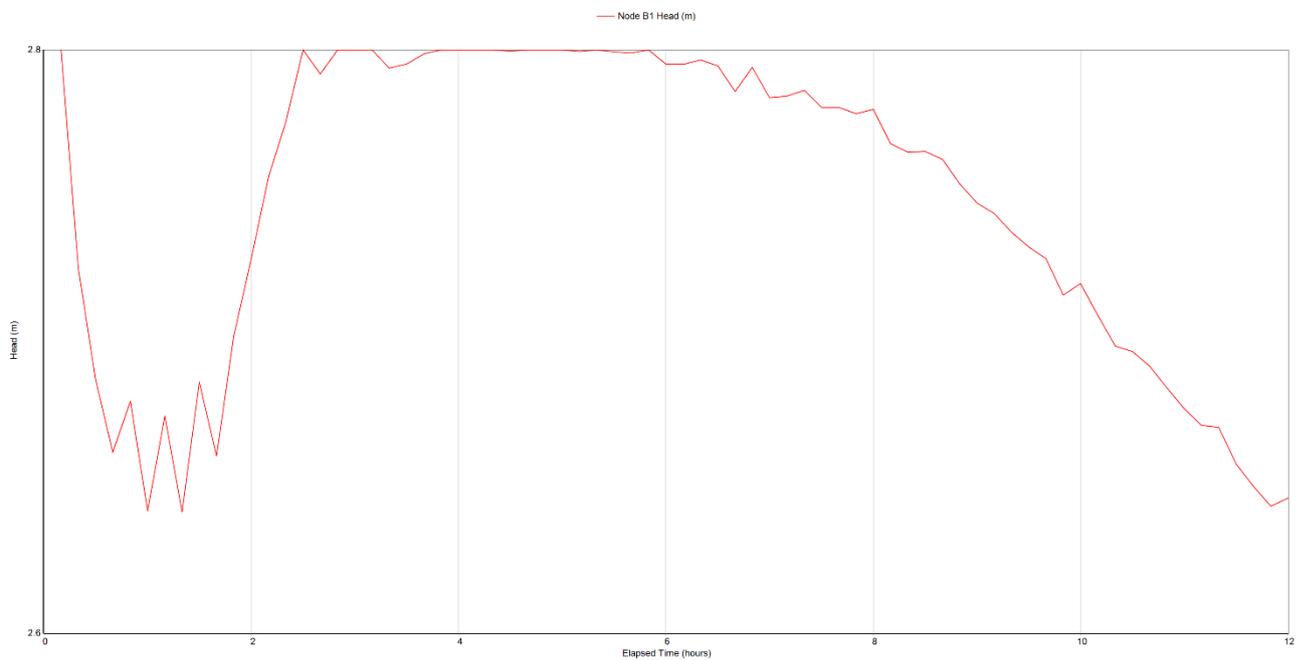
*Ilustración 65. Perfil del ramal B del Estero Salado con  $T_r=2$  años. [Saltos, 2022]*

### 5.2.1.3. Hidrograma en Sección de Descarga



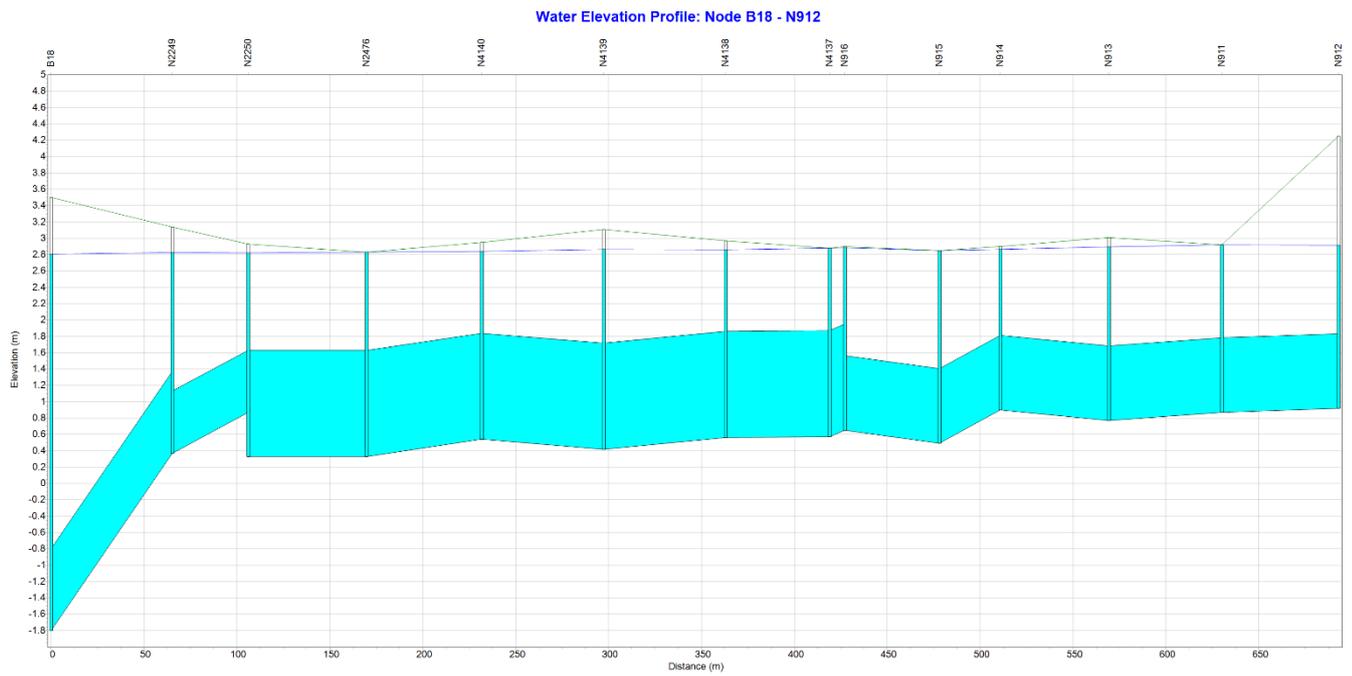
**Ilustración 66. Hidrograma en la sección de descarga con  $T_r=2$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.1.4. Variación de Niveles en Sección de Descarga



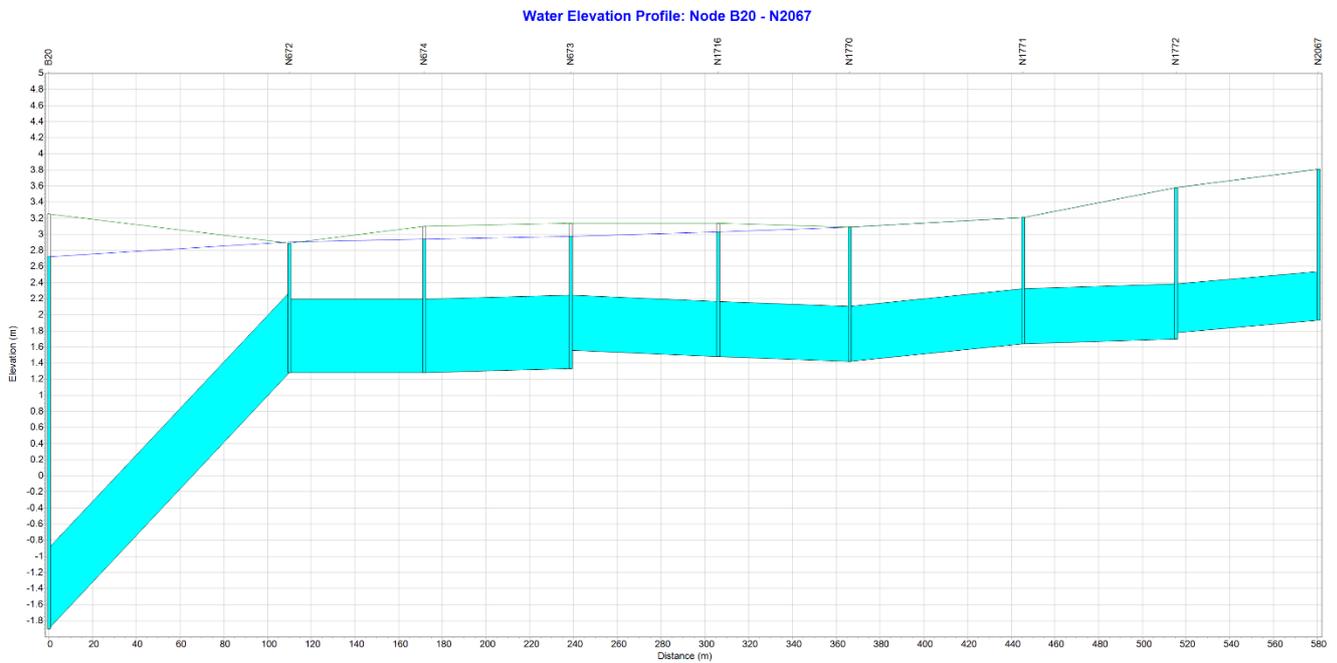
**Ilustración 67. Variación de nivel en sección de descarga con  $T_r=2$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.1.5. Perfil del Colector C7



**Ilustración 68. Vista en perfil del colector C7 con  $T_r=2$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.1.6. Perfil del Colector C8



**Ilustración 69. Vista en perfil del colector C8 con  $T_r=2$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.1.7. Hidrograma de Inundación en Nodo B3

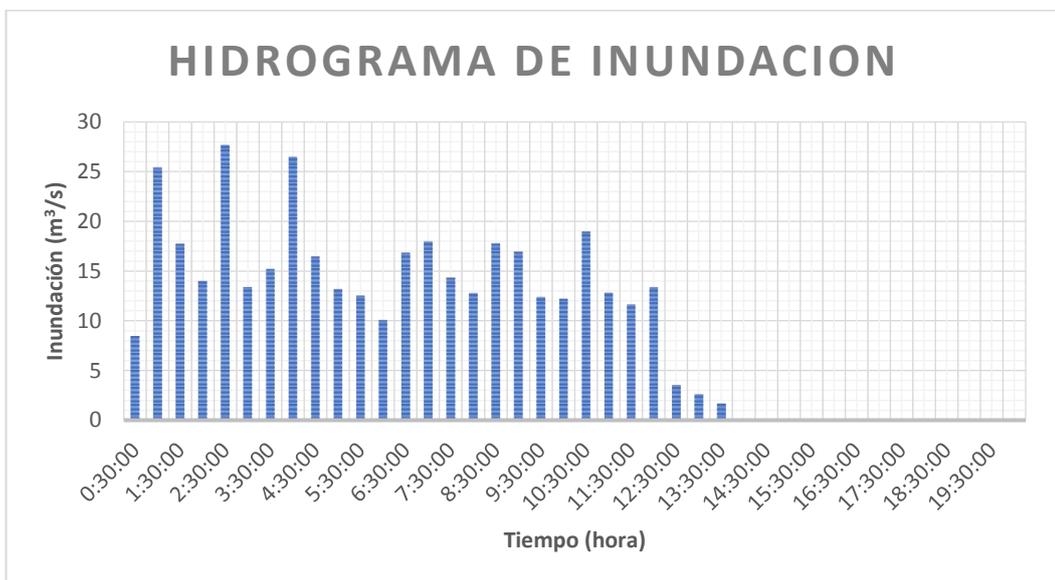


**Ilustración 70. Hidrograma de inundación con  $T_r=2$  años en el nodo B3 con proyecto.**

[Saltos, 2022]

$$\text{Volumen de Inundación} = 56876 \text{ m}^3$$

### 5.2.1.8. Hidrograma de Inundación en Nodo B5

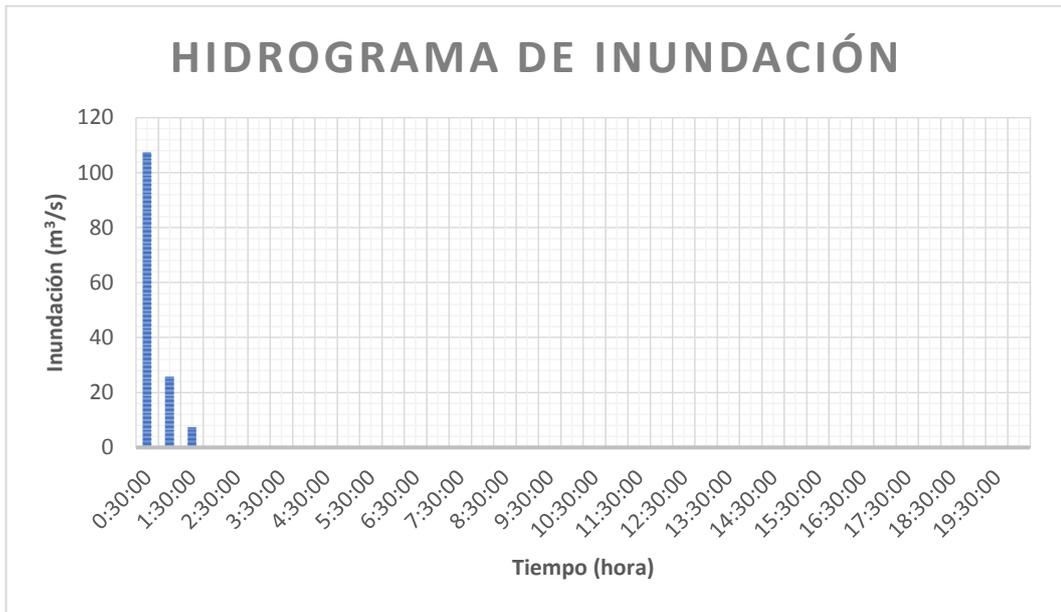


**Ilustración 71. Hidrograma de inundación con  $T_r=2$  años en el nodo B5 con proyecto.**

[Saltos, 2022]

$$\text{Volumen de Inundación} = 20947 \text{ m}^3$$

### 5.2.1.9. Hidrograma de Inundación en Nodo N2390



**Ilustración 72. Hidrograma de inundación con  $T_r=2$  años en el nodo N2390 con proyecto. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 3346 \text{ m}^3$$

### 5.2.1.10. Hidrograma de Inundación en Nodo N2270



**Ilustración 73. Hidrograma de inundación con  $T_r=2$  años en el nodo N2270 post proyecto. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 3774 \text{ m}^3$$

#### **5.2.1.11. Volumen Total de Inundación**

Para calcular el volumen total de inundación del sistema para un periodo de retorno determinado, se procedió a hacer una sumatoria del volumen de cada uno de los nodos del modelo, la tabla con los valores del volumen de inundación de cada nodo se puede encontrar en los anexos de este trabajo.

$$\text{Volumen de Inundación Total} = 148618 \text{ m}^3$$

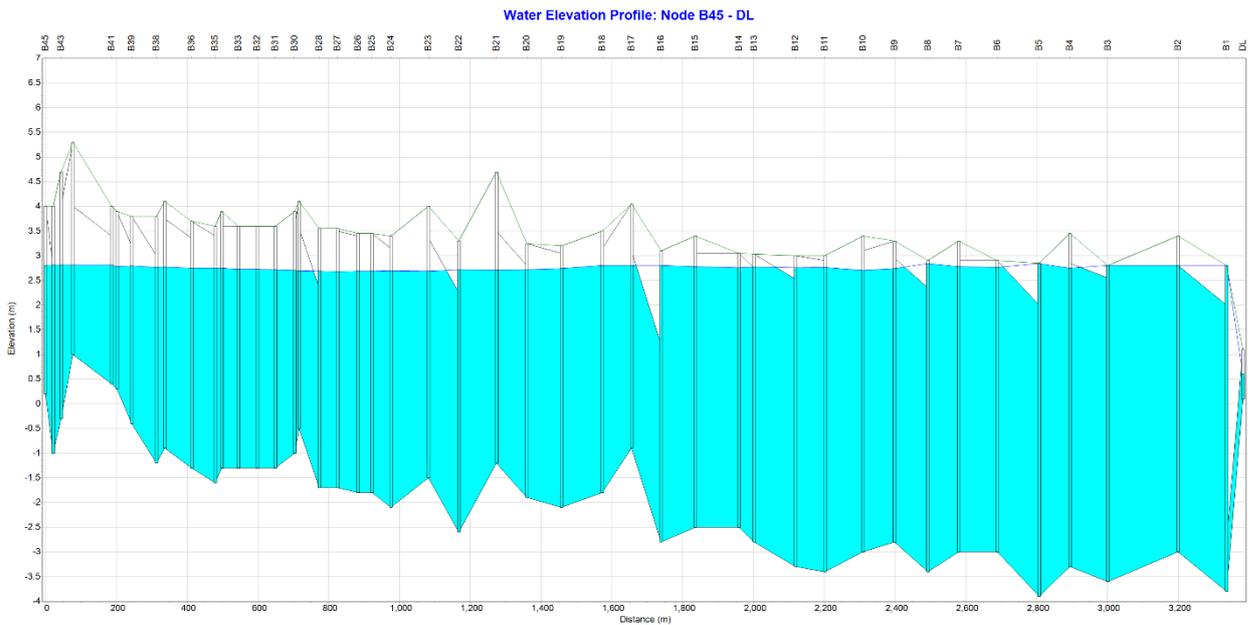
## 5.2.2. Periodo de Recurrencia 5 años

### 5.2.2.1. Mapa de Simulación Ejecutada



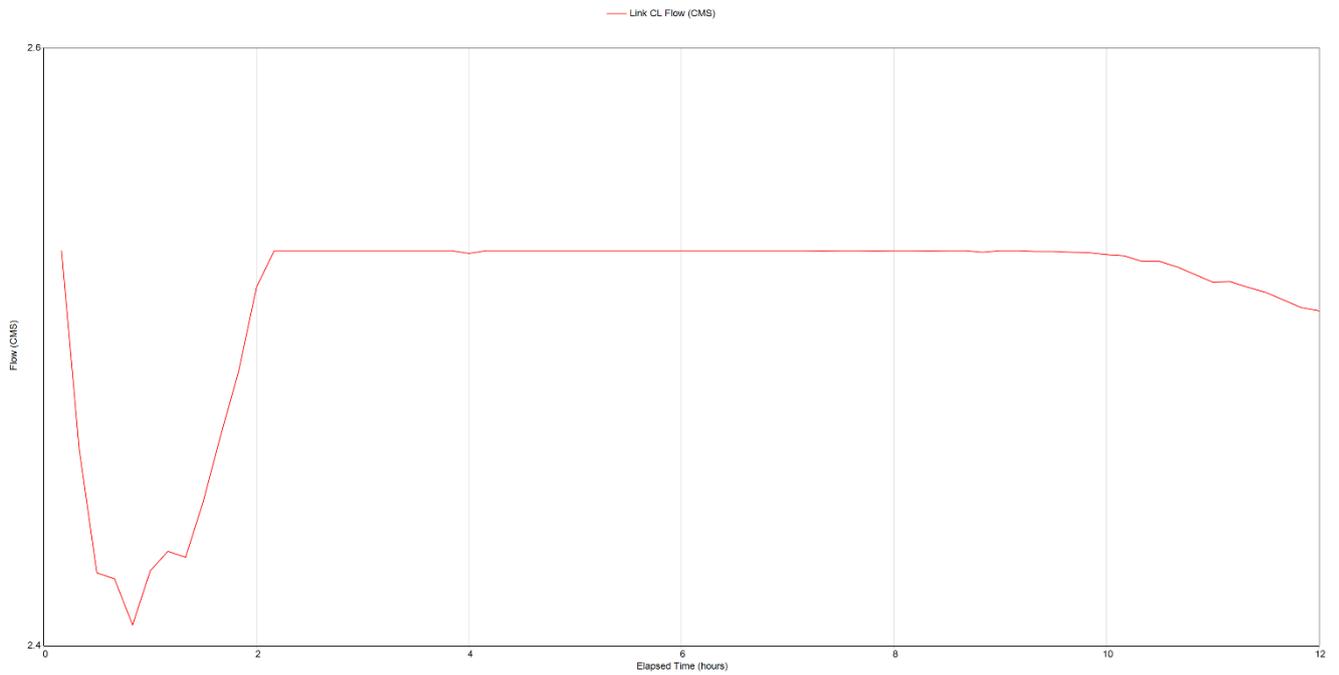
**Ilustración 74. Vista en planta del sistema post simulación con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.2.2. Perfil Ramal B del Estero Salado



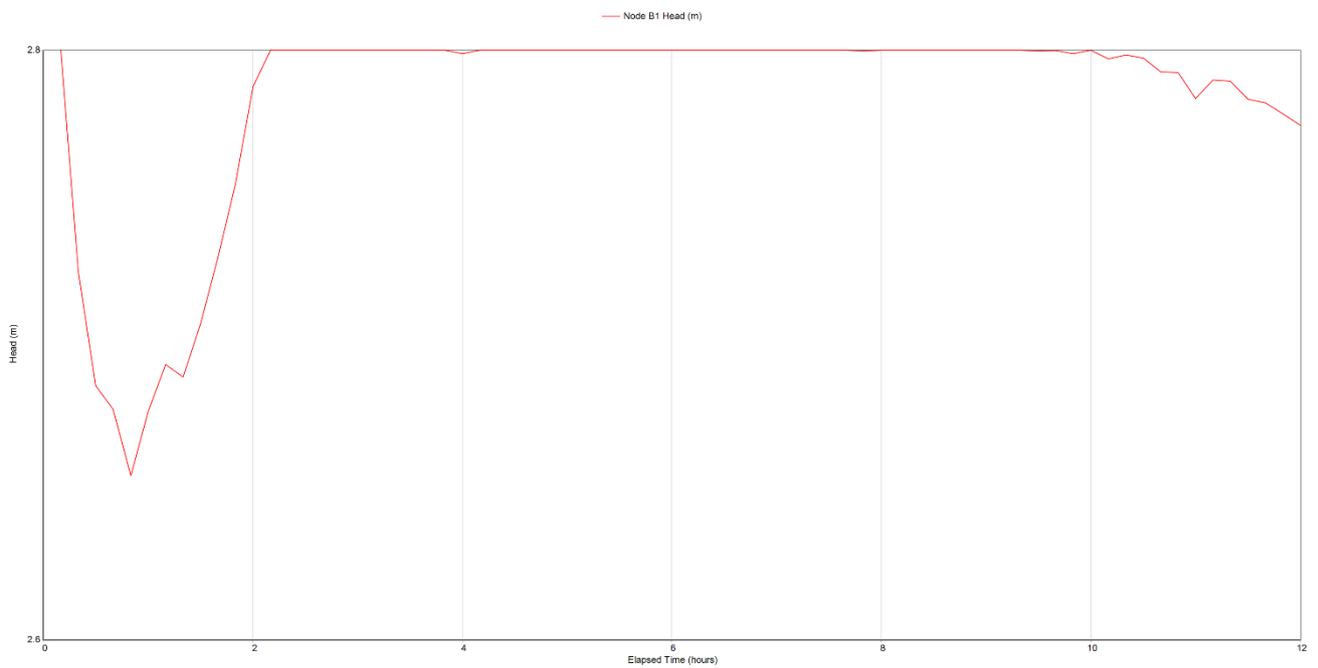
**Ilustración 75. Perfil del ramal B del Estero Salado con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.2.3. Hidrograma en Sección de Descarga



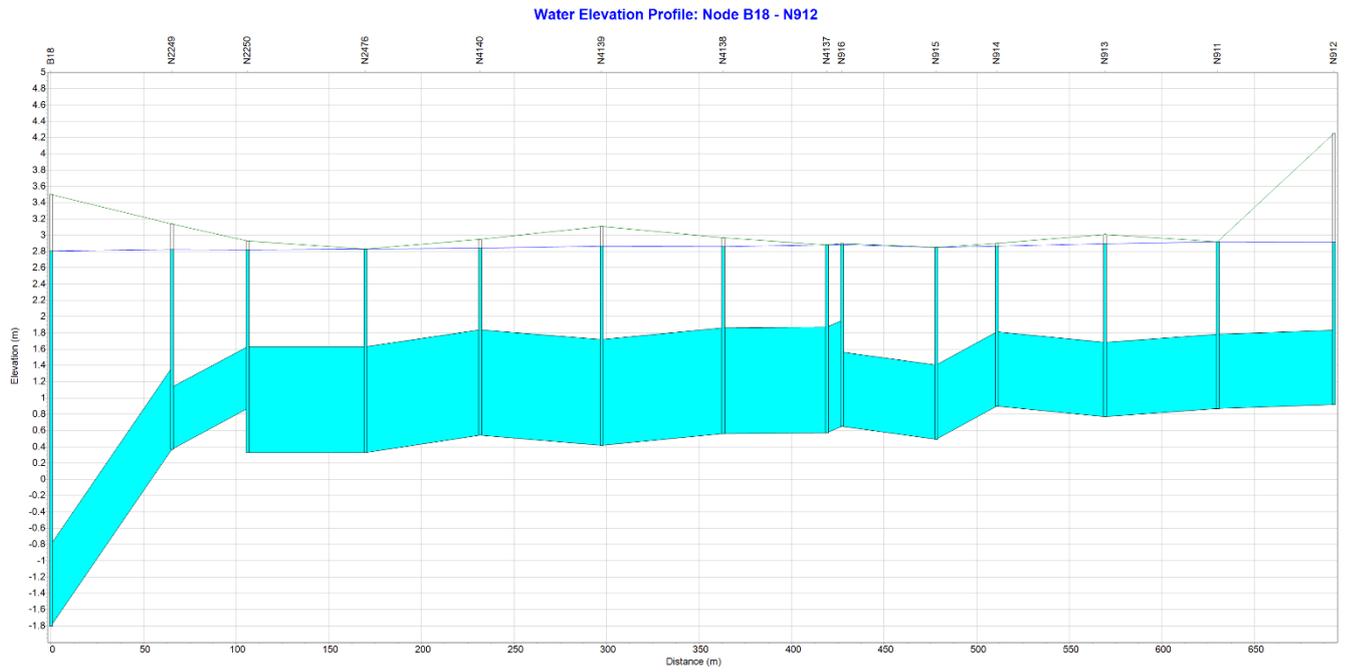
**Ilustración 76. Hidrograma en la sección de descarga con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.2.4. Variación de Niveles en Sección de Descarga



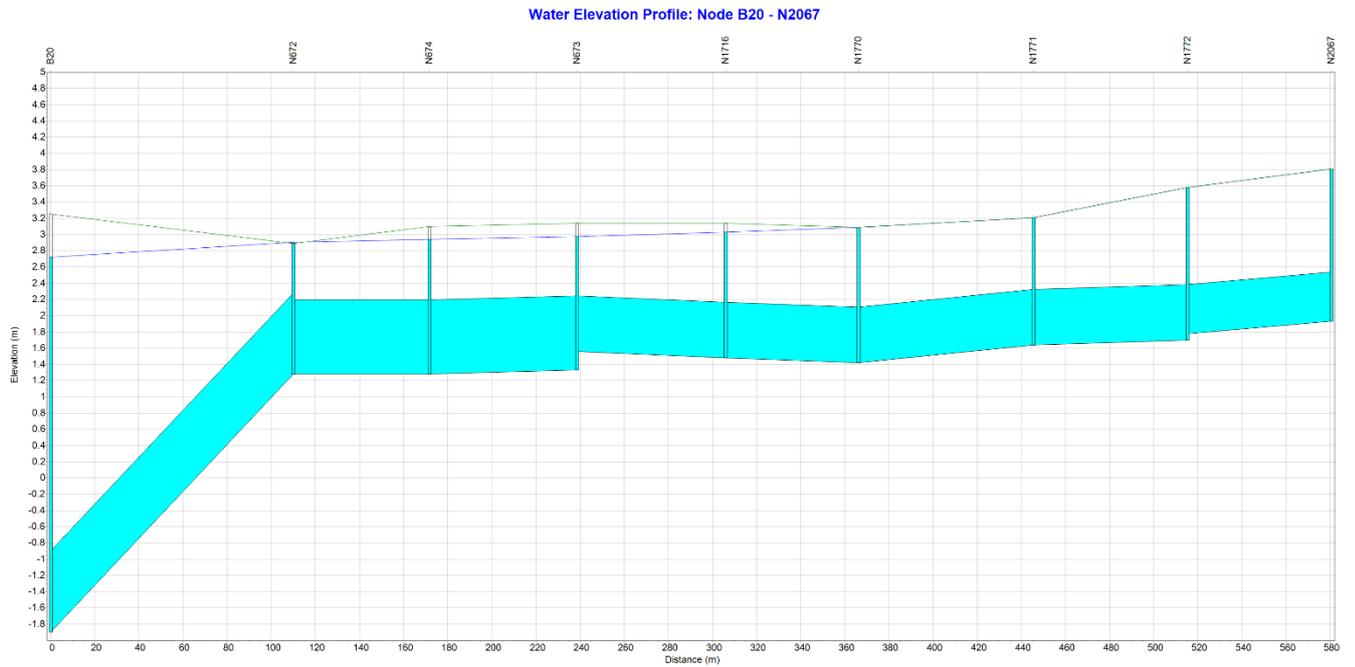
**Ilustración 77. Variación de nivel en sección de descarga con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.2.5. Perfil del Colector C7



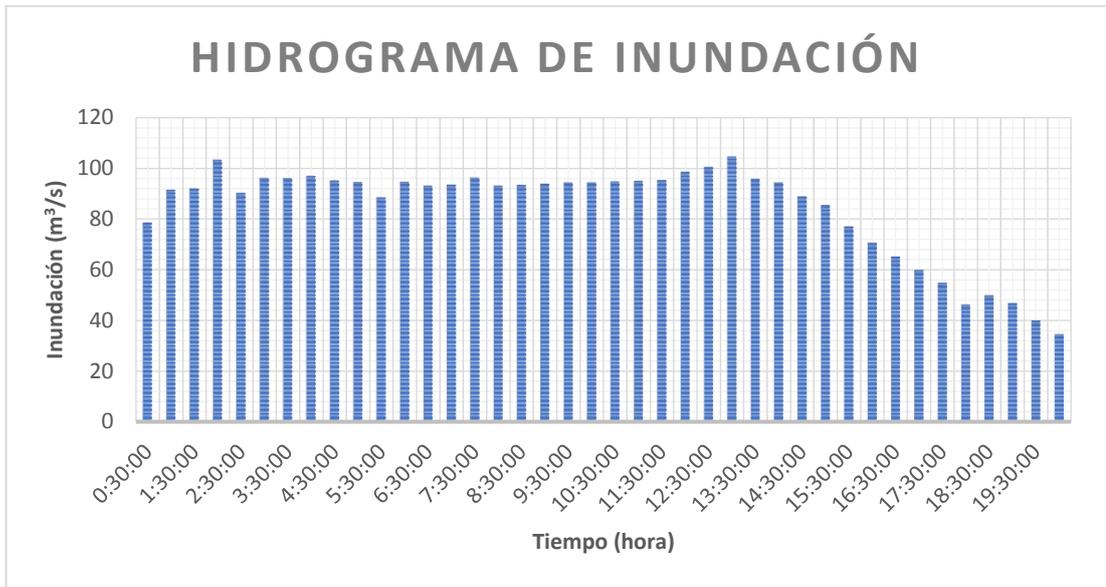
*Ilustración 78. Vista en perfil del colector C7 con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]*

### 5.2.2.6. Perfil del Colector C8



*Ilustración 79. Vista en perfil del colector C8 con  $T_r=5$  años. [Saltos, 2022]*

### 5.2.2.7. Hidrograma de Inundación en Nodo B3

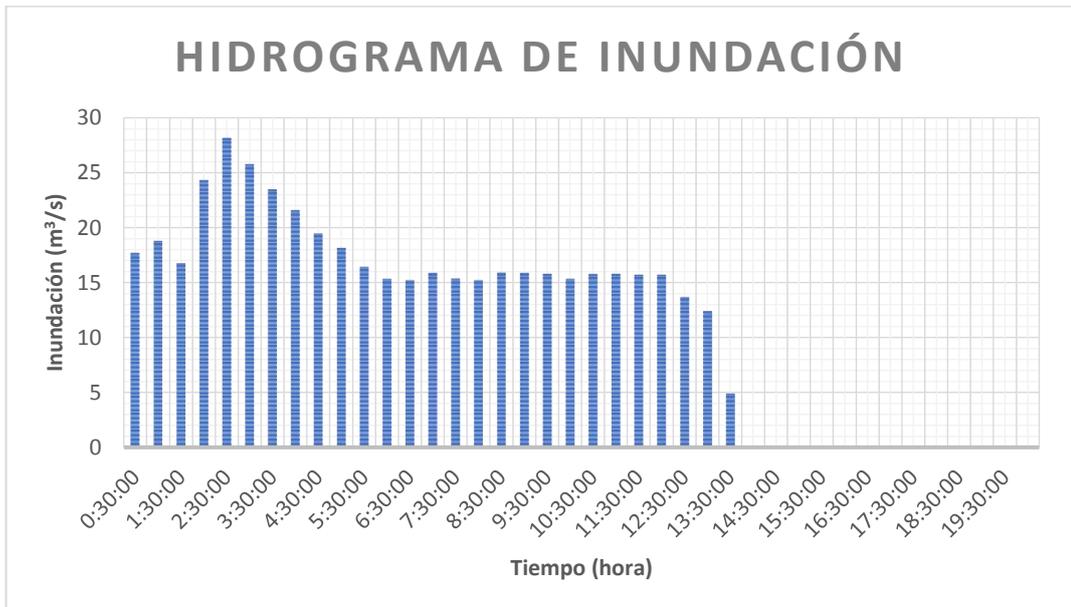


**Ilustración 80. Hidrograma de inundación con  $T_r=5$  años en el nodo B3 con proyecto.**

[Saltos, 2022]

$$\text{Volumen de Inundación} = 110281 \text{ m}^3$$

### 5.2.2.8. Hidrograma de Inundación en Nodo N2270



**Ilustración 81. Hidrograma de inundación con  $T_r=5$  años en el nodo 2270 con proyecto. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 8051 \text{ m}^3$$

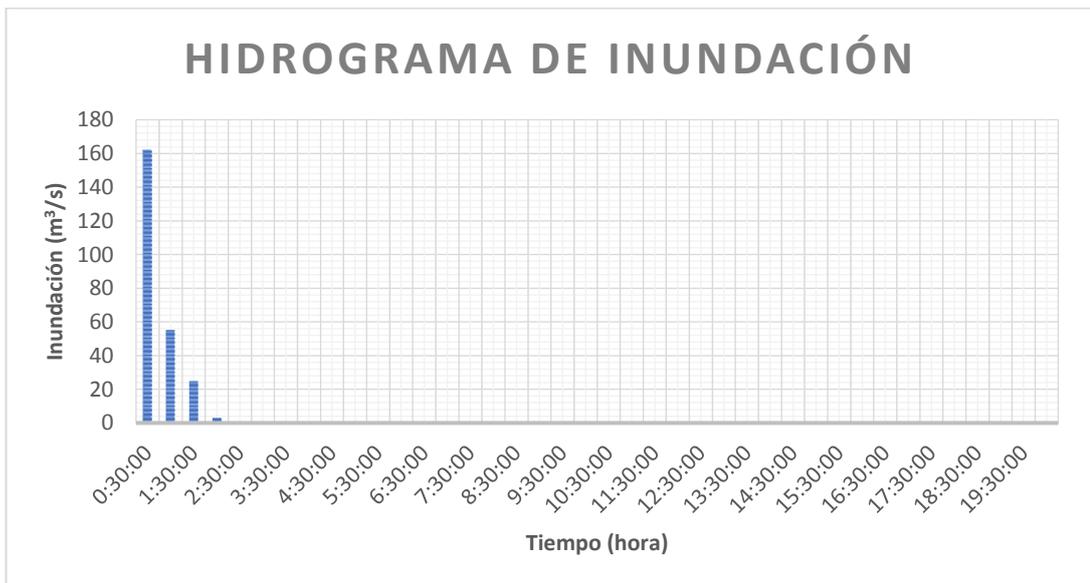
### 5.2.2.9. Hidrograma de Inundación en Nodo N2189



**Ilustración 82. Hidrograma de inundación con  $T_r=5$  años en el nodo N2189 con proyecto. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 2953 \text{ m}^3$$

### 5.2.2.10. Hidrograma de Inundación en Nodo N2392



**Ilustración 83. Hidrograma de inundación con  $T_r=5$  años en el nodo N2392 con proyecto. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 2911 \text{ m}^3$$

#### **5.2.2.11. Volumen Total de Inundación**

Para calcular el volumen total de inundación del sistema para un periodo de retorno determinado, se procedió a hacer una sumatoria del volumen de cada uno de los nodos del modelo, la tabla con los valores del volumen de inundación de cada nodo se puede encontrar en los anexos de este trabajo.

$$\text{Volumen de Inundación Total} = 311521 \text{ m}^3$$

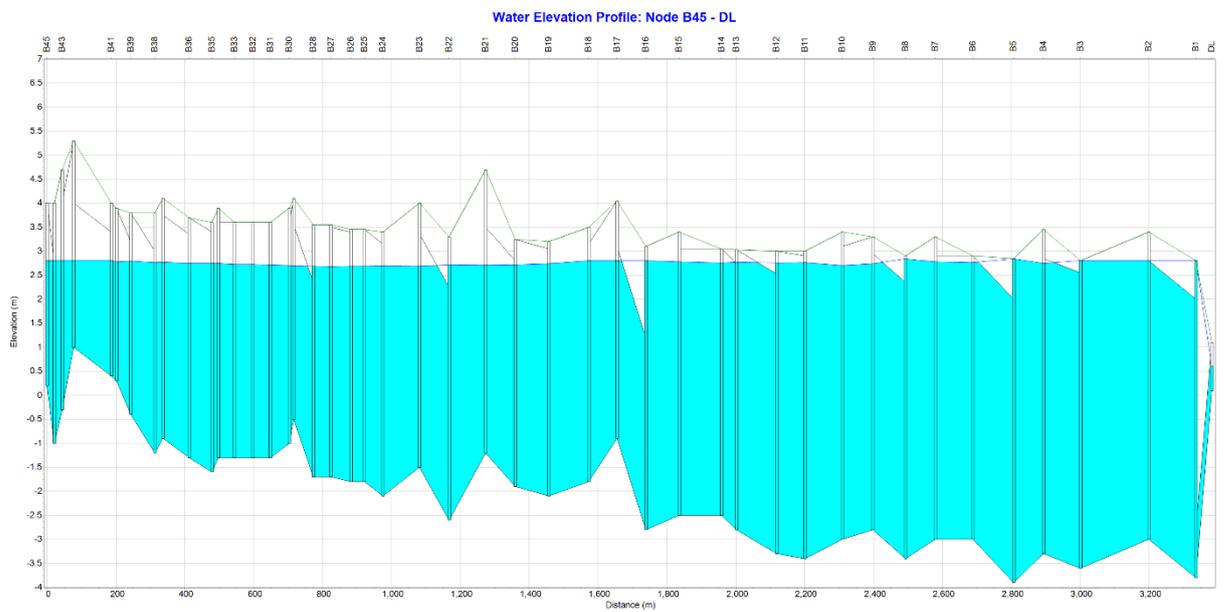
### 5.2.3. Periodo de Recurrencia 10 años

#### 5.2.3.1. Mapa de Simulación Ejecutada



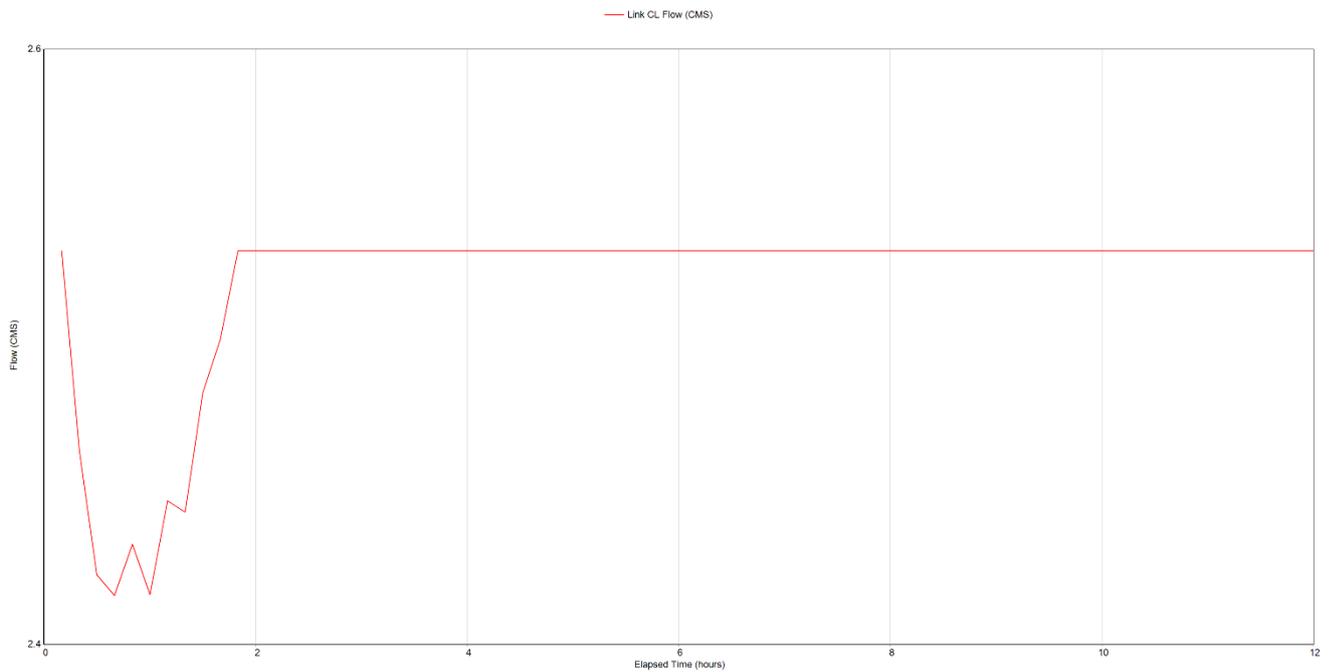
*Ilustración 84. Vista en planta del sistema post simulación con  $T_r= 10$  años. [Saltos, 2022]*

#### 5.2.3.2. Perfil Ramal B del Estero Salado



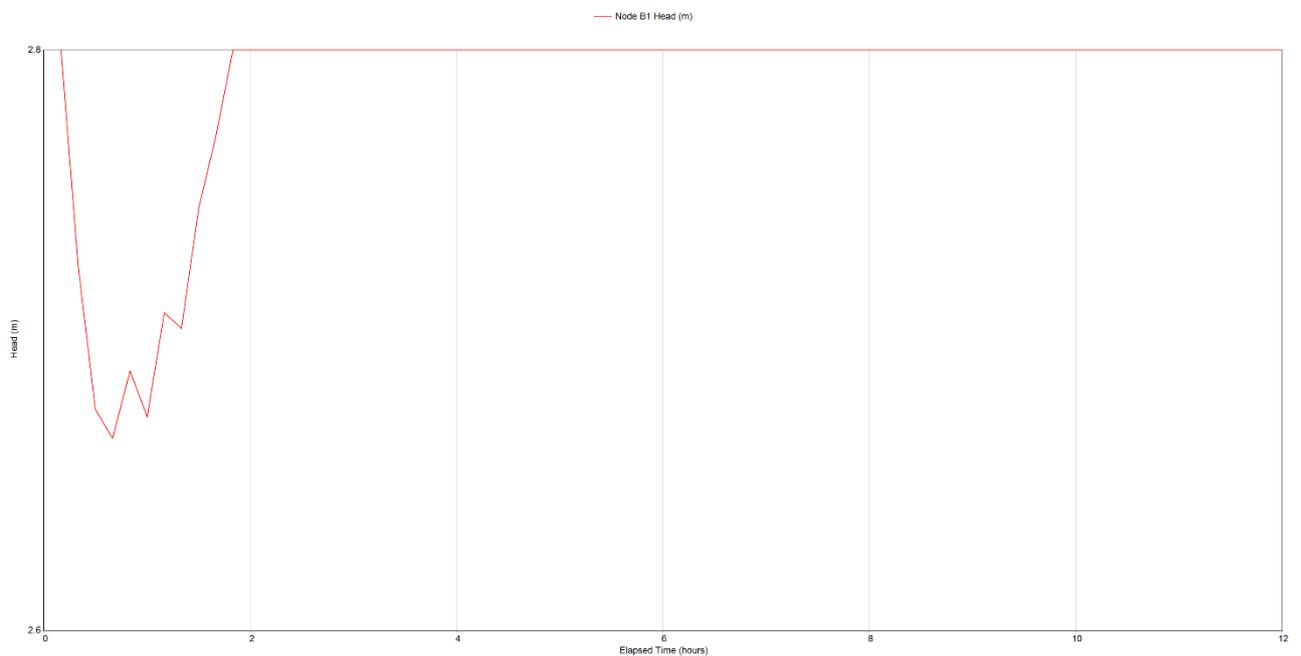
*Ilustración 85. Perfil del ramal B del Estero Salado con  $T_r= 10$  años. [Saltos, 2022]*

### 5.2.3.3. Hidrograma en Sección de Descarga



**Ilustración 86. Hidrograma en la sección de descarga con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.3.4. Variación de Niveles en Sección de Descarga



**Ilustración 87. Variación de nivel en sección de descarga con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.3.5. Perfil del Colector C7

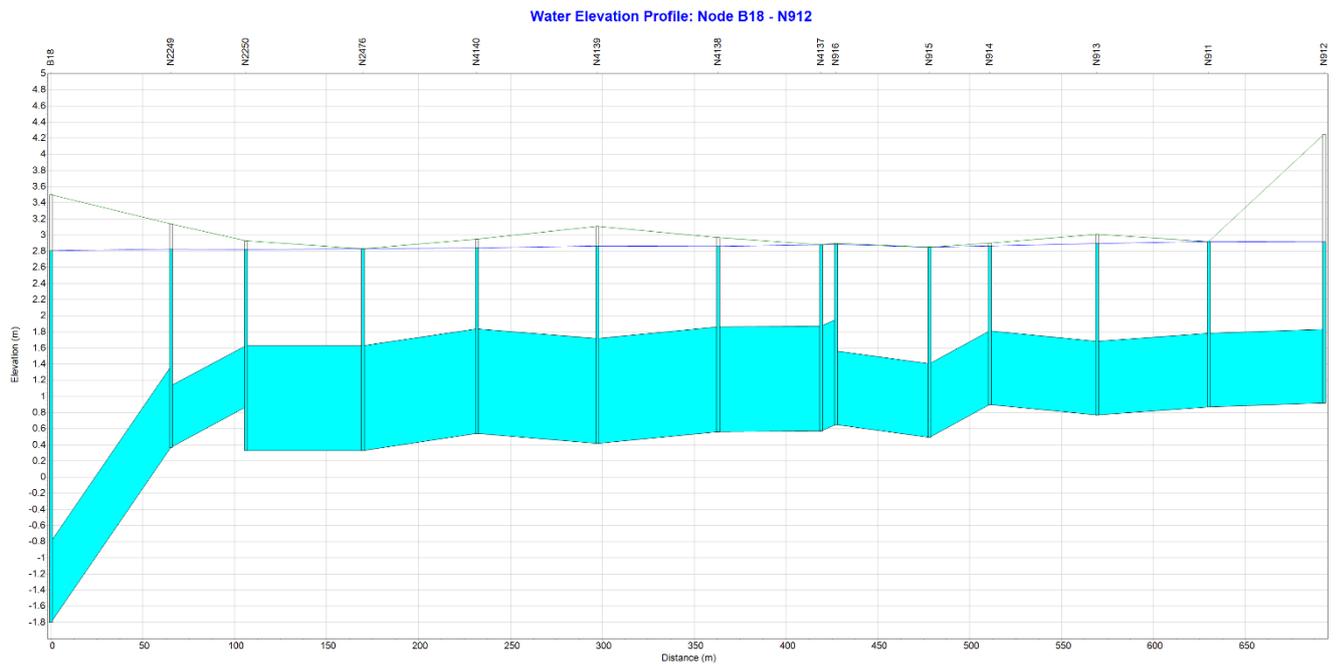


Ilustración 88. Vista en perfil del colector C7 con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]

### 5.2.3.6. Perfil del Colector C8

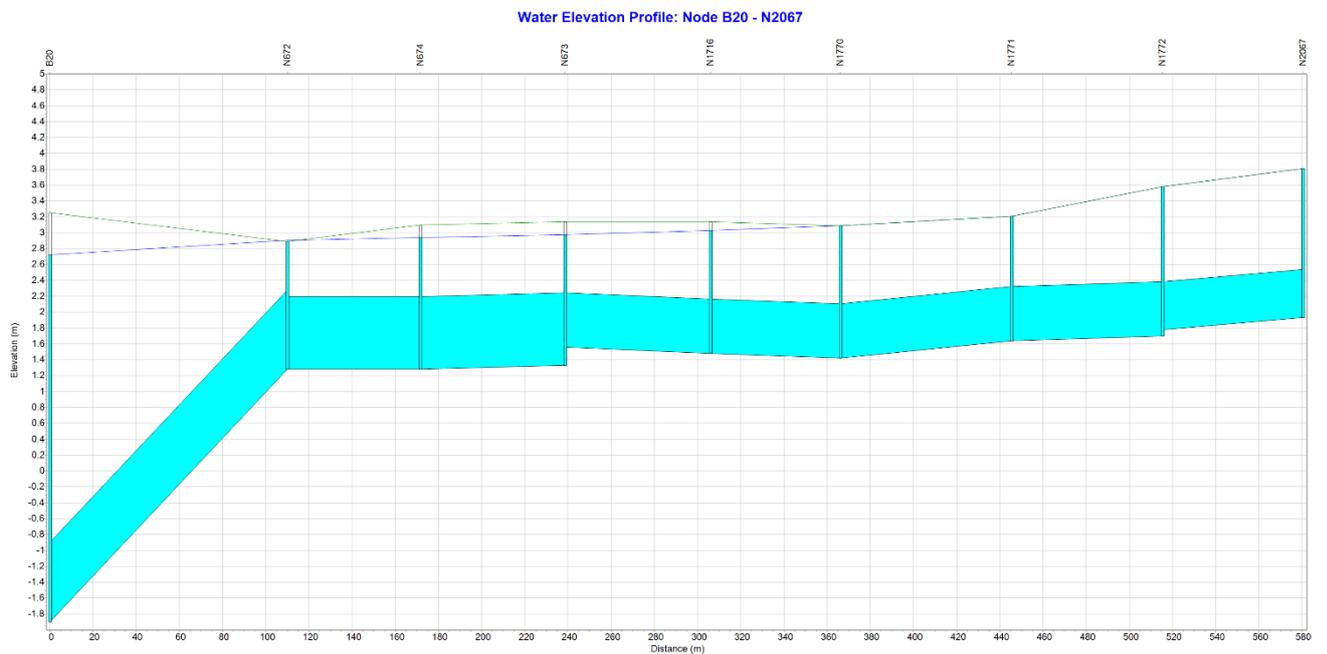
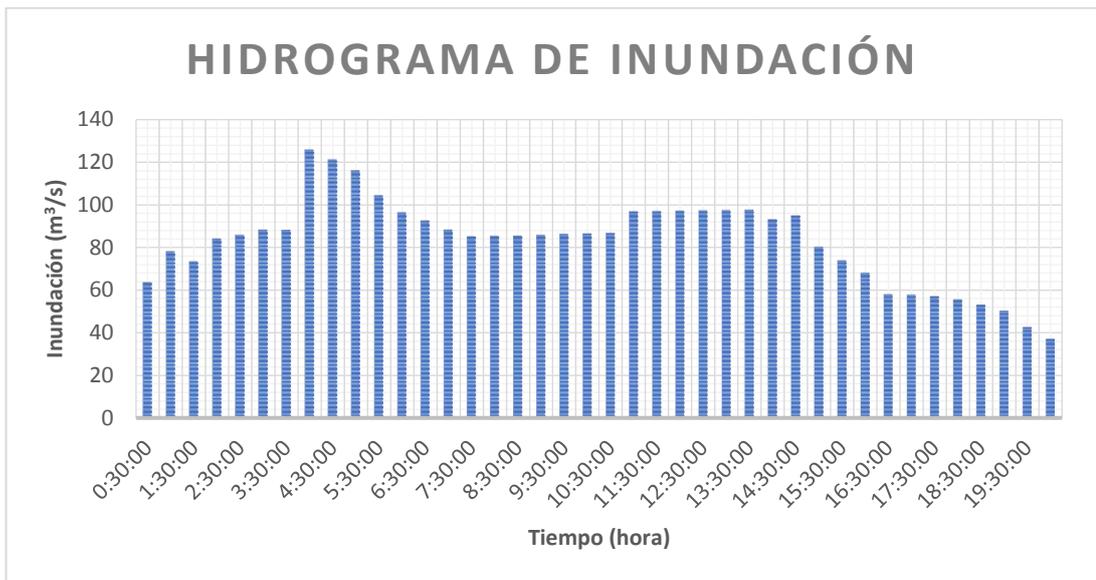


Ilustración 89. Vista en perfil del colector C8 con  $T_r=10$  años. [Saltos, 2022]

### 5.2.3.7. Hidrograma de Inundación en Nodo B3



**Ilustración 90. Hidrograma de inundación con  $T_r= 10$  años en el nodo B3 con proyecto. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 175233 \text{ m}^3$$

### 5.2.3.8. Hidrograma de Inundación en Nodo N2270



**Ilustración 91. Hidrograma de inundación con  $T_r= 10$  años en el nodo N2270 con proyecto. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 8.96 \text{ m}^3$$

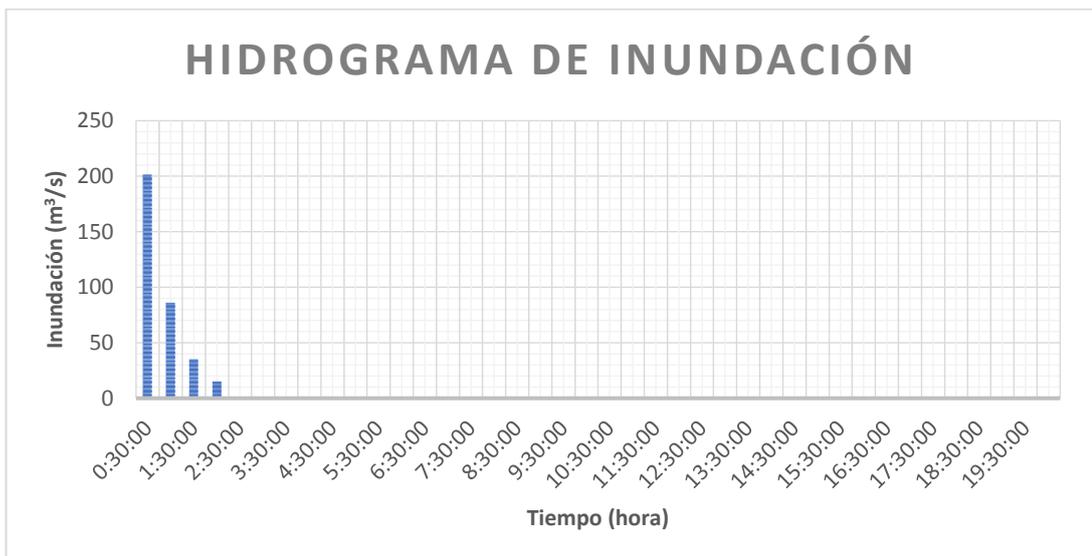
### 5.2.3.9. Hidrograma de Inundación en Nodo N2187



**Ilustración 92. Hidrograma de inundación con  $T_r=10$  años en el nodo N2187 con proyecto. [Saltos, 2022]**

*Volumen de Inundación = 3084 m<sup>3</sup>*

### 5.2.3.10. Hidrograma de Inundación en Nodo N1862



**Ilustración 93. Hidrograma de inundación con  $T_r=10$  años en el nodo N1862 con proyecto. [Saltos, 2022]**

*Volumen de Inundación = 2610 m<sup>3</sup>*

### **5.2.3.11. Volumen Total de Inundación**

Para calcular el volumen total de inundación del sistema para un periodo de retorno determinado, se procedió a hacer una sumatoria del volumen de cada uno de los nodos del modelo, la tabla con los valores del volumen de inundación de cada nodo se puede encontrar en los anexos de este trabajo.

$$\text{Volumen de Inundación Total} = 498360 \text{ m}^3$$

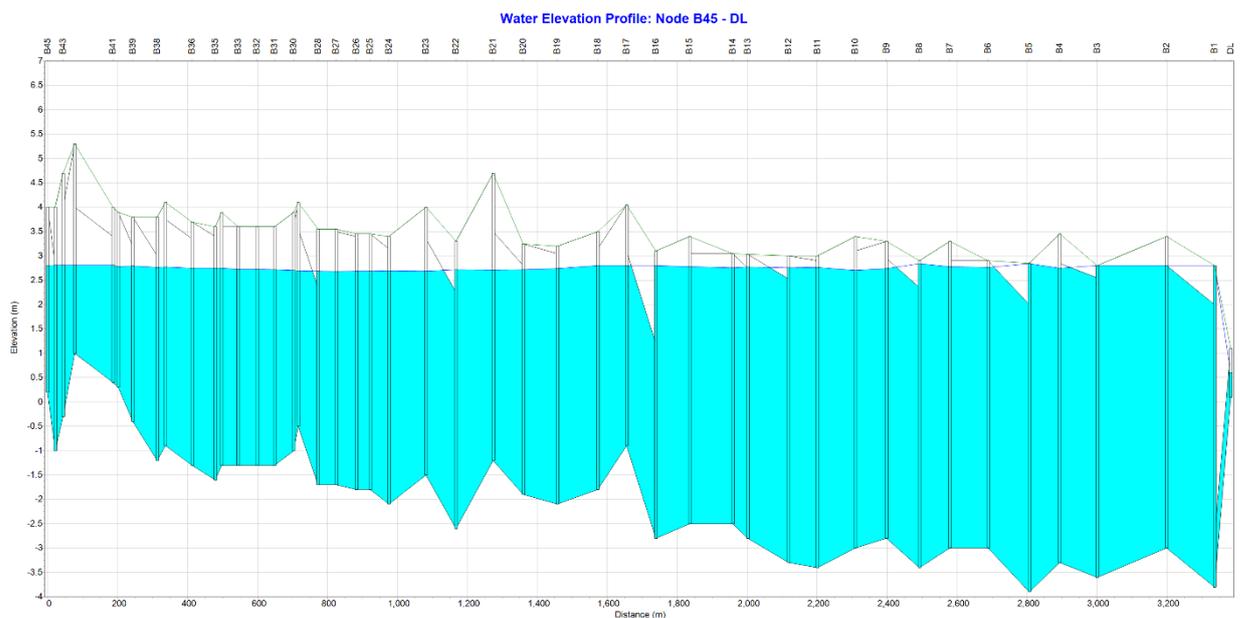
## 5.2.4. Periodo de Recurrencia 25 años

### 5.2.4.1. Mapa de Simulación Ejecutada



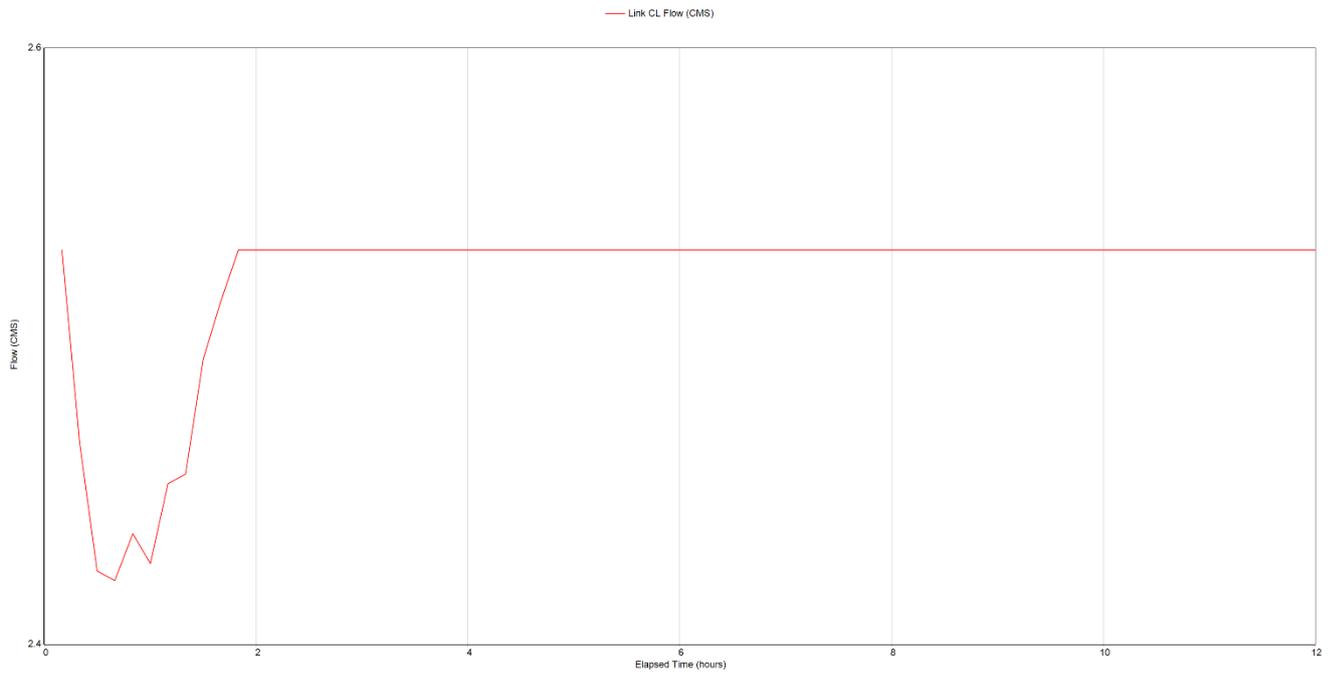
**Ilustración 94. Vista en planta del sistema post simulación con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.4.2. Perfil Ramal B del Estero Salado



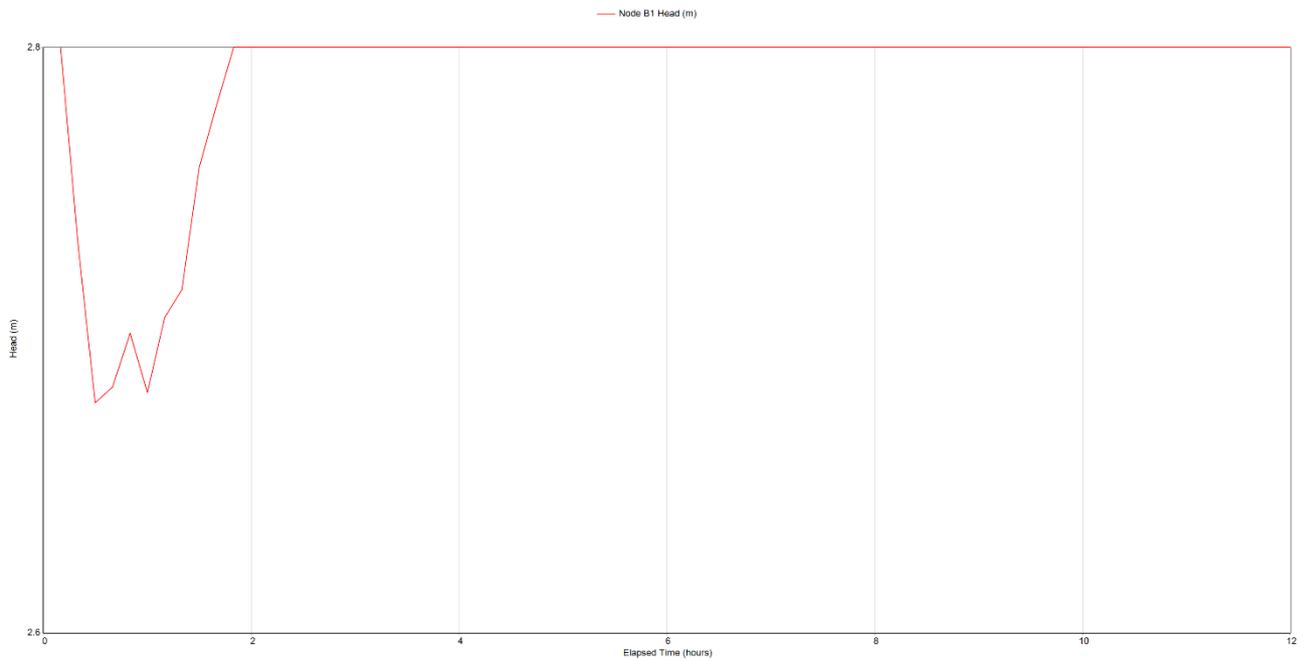
**Ilustración 95. Perfil del ramal B del Estero Salado con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.4.3. Hidrograma en Sección de Descarga



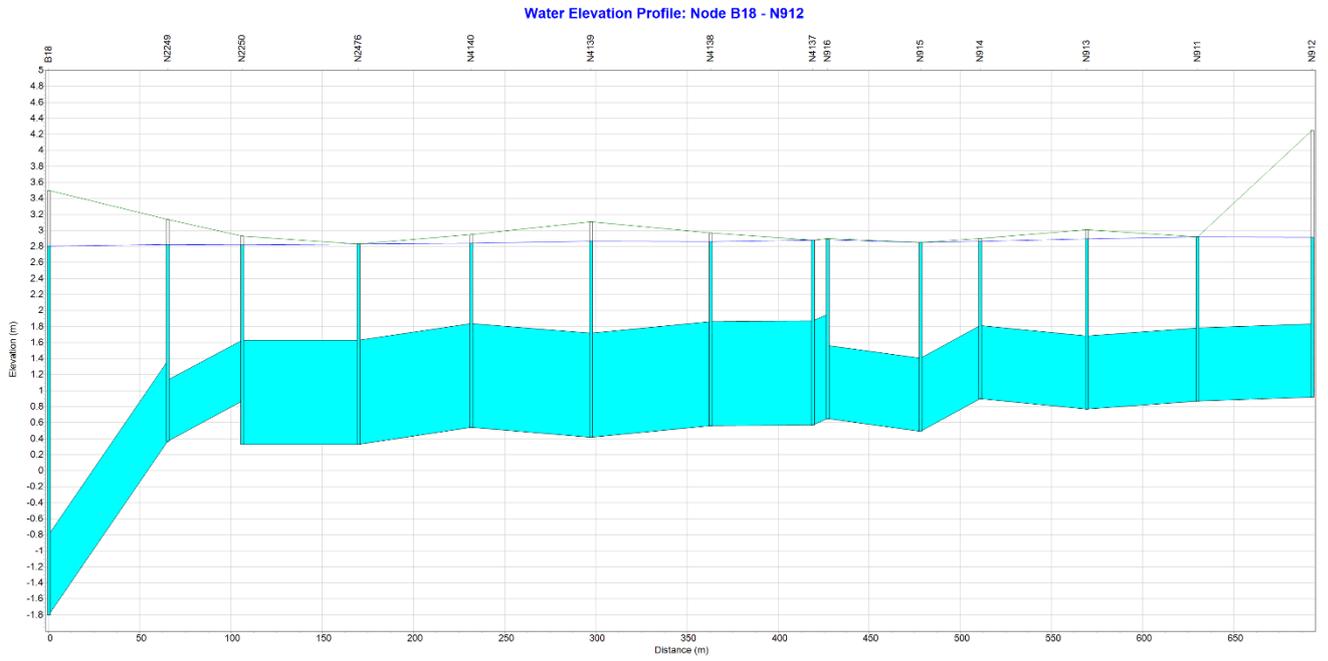
**Ilustración 96. Hidrograma en la sección de descarga con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.4.4. Variación de Niveles en Sección de Descarga



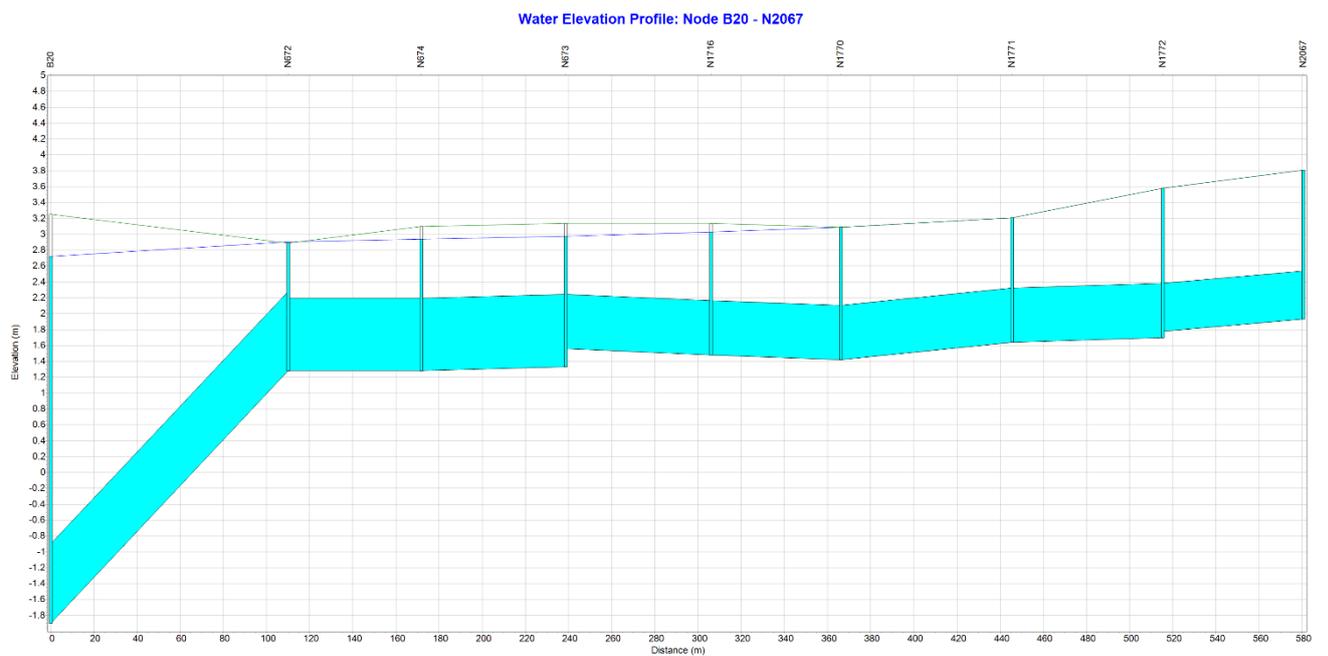
**Ilustración 97. Variación de nivel en sección de descarga con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]**

### 5.2.4.5. Perfil del Colector C7



*Ilustración 98. Vista en perfil del colector C7 con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]*

### 5.2.4.6. Perfil del Colector C8



*Ilustración 99. Vista en perfil del colector C8 con  $T_r=25$  años. [Saltos, 2022]*

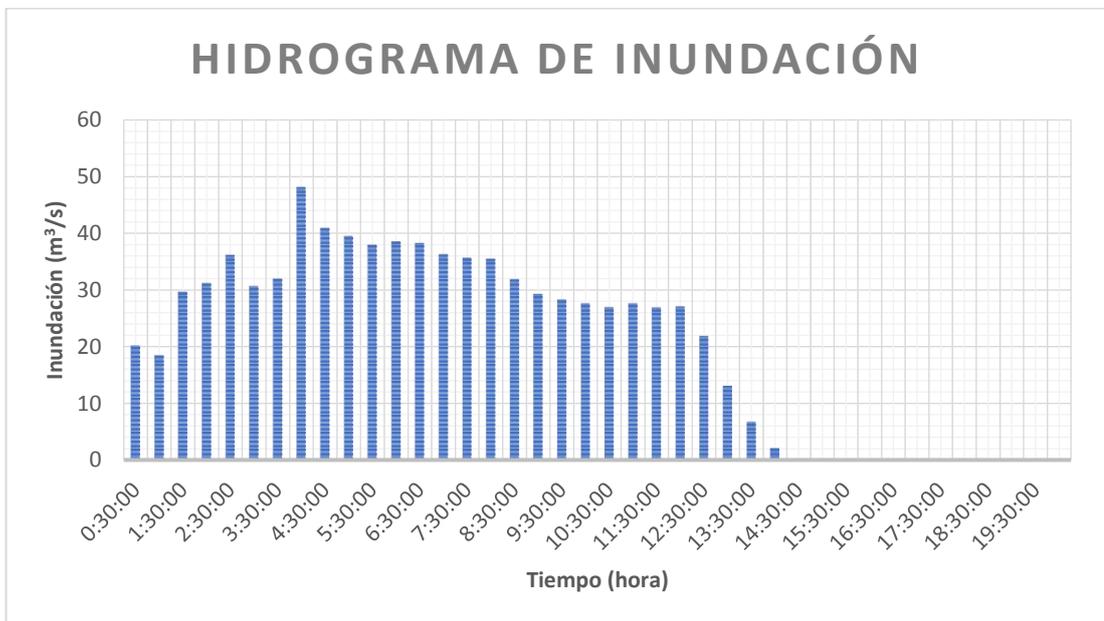
### 5.2.4.7. Hidrograma de Inundación en Nodo B3



**Ilustración 100. Hidrograma de inundación con  $T_r=25$  años en el nodo B3 con proyecto. [Saltos, 2022]**

*Volumen de Inundación = 211840 m<sup>3</sup>*

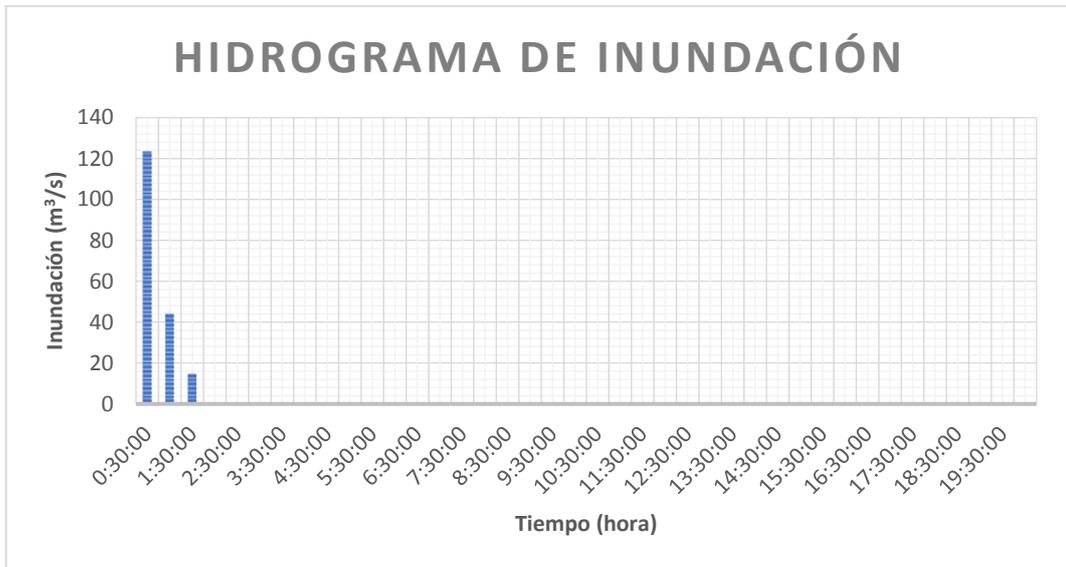
### 5.2.4.8. Hidrograma de Inundación en Nodo N2270



**Ilustración 101. Hidrograma de inundación con  $T_r=25$  años en el nodo N2270 con proyecto. [Saltos, 2022]**

*Volumen de Inundación = 15154 m<sup>3</sup>*

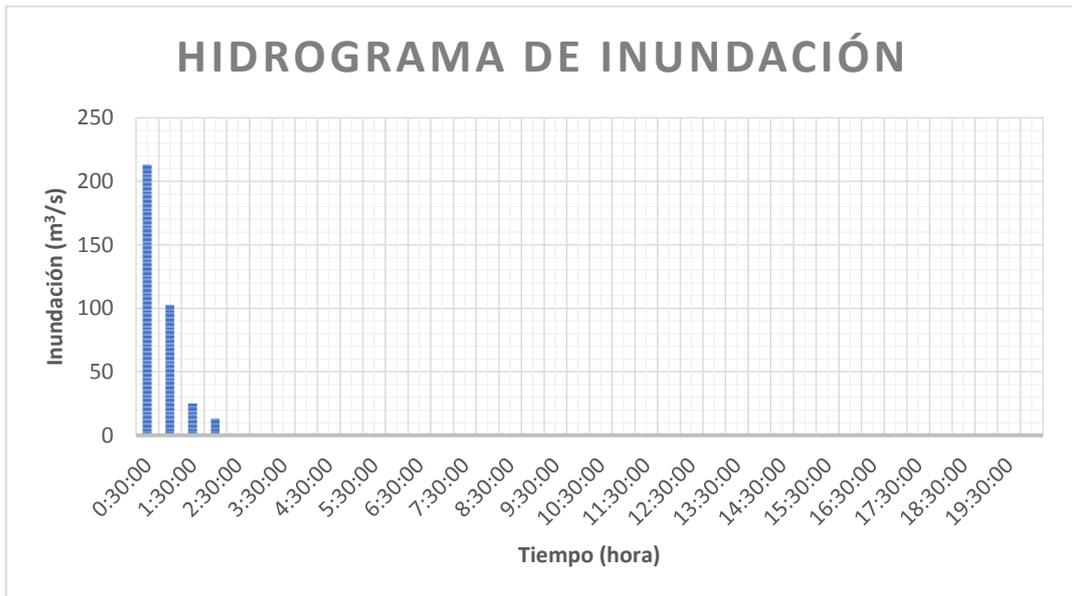
### 5.2.4.9. Hidrograma de Inundación en Nodo N2189



**Ilustración 102. Hidrograma de inundación con  $T_r=25$  años en el nodo N2189 con proyecto. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 7547 \text{ m}^3$$

### 5.2.4.10. Hidrograma de Inundación en Nodo N2187



**Ilustración 103. Hidrograma de inundación con  $T_r=25$  años en el nodo N2187 post proyecto. [Saltos, 2022]**

$$\text{Volumen de Inundación} = 3783 \text{ m}^3$$

#### **5.2.4.11. Volumen Total de Inundación**

Para calcular el volumen total de inundación del sistema para un periodo de retorno determinado, se procedió a hacer una sumatoria del volumen de cada uno de los nodos del modelo, la tabla con los valores del volumen de inundación de cada nodo se puede encontrar en los anexos de este trabajo.

$$\text{Volumen de Inundación Total} = 587047 \text{ m}^3$$

### **5.3. Comparación entre Escenarios**

Como resultado de las simulaciones en ambos escenarios se pudo notar que el comportamiento hidráulico del ramal B, desde el punto de vista de caudales de salida hacia el punto de descarga y de niveles en el sector represado es similar. Lo anterior indicaría que la inclusión del sistema de válvulas no produciría variaciones muy significativas en los niveles máximos del estero que podrían generar desbordamientos de este hacia sus márgenes.

Al ser el propósito de este trabajo reducir las inundaciones en los colectores o nodos mencionados previamente, esto se tratará de hacer logrando que el tramo B se mantenga parcialmente vacío al momento de las precipitaciones para que así los colectores puedan tener una descarga libre hacia el estero y estos no se inundan.

La forma más efectiva, para evaluar los beneficios del trabajo propuesto es comparando los resultados entre los escenarios con y sin proyecto, lo que se hará a través de la medición de daño anual esperado. Para este caso, el daño está relacionado directamente con los volúmenes anuales esperados de inundación para ambos escenarios. El volumen anual esperado de inundación es igual a la suma del producto del volumen de inundación calculado para cada periodo de recurrencia por la probabilidad de su ocurrencia, esto es el área bajo la curva de los gráficos volumen de inundación vs periodo de recurrencia/probabilidad.

En las siguientes tablas se presentan los volúmenes de inundación calculados para diversas frecuencias, así como los volúmenes anuales esperados de inundación para ambos escenarios.

### 5.3.1. Escenario 1

Situación en la que los hidrogramas de marea y de precipitación llegan a su punto pico al mismo momento, lo cual generaría una situación crítica. Se pueden apreciar los volúmenes de inundación que tendrá el sistema en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Resumen de los volúmenes de inundación en los diferentes periodos de recurrencia.**

| ESCENARIO 1: SIN PROYECTO |                       |                |
|---------------------------|-----------------------|----------------|
| PERIODO DE RECURRENCIA    | VOLUMEN DE INUNDACIÓN |                |
| 2 AÑOS                    | 203958                | m <sup>3</sup> |
| 5 AÑOS                    | 367191                | m <sup>3</sup> |
| 10 AÑOS                   | 550450                | m <sup>3</sup> |
| 25 AÑOS                   | 641825                | m <sup>3</sup> |

*Fuente: Saltos, 2022*

Para encontrar el volumen anual esperado para un evento de cierto tiempo de periodo de recurrencia, se deberá multiplicar el volumen esperado de inundación del evento por la probabilidad de ocurrencia del mismo, el cual es la división de 1 entre el periodo de recurrencia y así se obtendrá el volumen en un determinado año.

**Tabla 10. Volúmenes de inundación para diversas frecuencias.**

| VOLÚMENES DE INUNDACIÓN PARA DIVERSAS FRECUENCIAS |                       |                                  |                     |
|---|-----------------------|----------------------------------|---------------------|
| PERIODO DE RECURRENCIA                            | VOLUMEN DE INUNDACIÓN | PROBABILIDAD DE OCURRENCIA ANUAL | VOLUMEN INCREMENTAL |
|   | m <sup>3</sup>        |                                  | m <sup>3</sup>      |
| 1   | 0                     | 1                                | 0.00                |
| 2   | 203958                | 0.5                              | 50989,50            |
| 5   | 367191                | 0.2                              | 14687.64            |
| 10  | 550450                | 0.1                              | 5504.50             |
| 25  | 641825                | 0.04                             | 1026.92             |
|   |                       |                                  | 72208.56            |

*Fuente: Saltos, 2022*



**Ilustración 104. Volumen de inundación en condiciones actuales. [Saltos, 2022]**

### 5.3.2. Escenario 2

Situación en la que el hidrograma de precipitación llega a su punto pico en un momento dado y la curva de la marea al estar desfasada llegara a su punto crítico en otro momento. Se pueden apreciar los volúmenes de inundación que tendrá el sistema en la siguiente tabla:

**Tabla 11. Resumen de volúmenes de inundación en diferentes periodos de recurrencia post proyecto.**

| CON PROYECTO           |                       |                |
|------------------------|-----------------------|----------------|
| PERIODO DE RECURRENCIA | VOLUMEN DE INUNDACIÓN |                |
| 2 AÑOS                 | 148618                | m <sup>3</sup> |
| 5 AÑOS                 | 311521                | m <sup>3</sup> |
| 10 AÑOS                | 498360                | m <sup>3</sup> |
| 25 AÑOS                | 587047                | m <sup>3</sup> |

*Fuente: Saltos, 2022*

Para encontrar el volumen anual esperado para un evento de cierto tiempo de periodo de recurrencia, se deberá multiplicar el volumen esperado de inundación del evento por la probabilidad de ocurrencia del mismo, el cual es la división de 1 entre el periodo de recurrencia y así se obtendrá el volumen en un determinado año.

**Tabla 12. Volúmenes de inundación para diversas frecuencias post proyecto.**

| TABLA DE VOLUMENES DE INUNDACIÓN PARA DIVERSAS FRECUENCIAS |                       |                                  |                     |
|--|-----------------------|----------------------------------|---------------------|
| PERIODO DE RECURRENCIA                                     | VOLUMEN DE INUNDACIÓN | PROBABILIDAD DE OCURRENCIA ANUAL | VOLUMEN INCREMENTAL |
|  | m <sup>3</sup>        |                                  | m <sup>3</sup>      |
| 1  | 0                     | 1                                | 0.00                |
| 2  | 148618                | 0.5                              | 37154.50            |
| 5  | 311521                | 0.2                              | 12460.84            |
| 10   | 498360                | 0.1                              | 4983.60             |
| 25   | 587047                | 0.04                             | 939.28              |

55538.22

*Fuente: Saltos, 2022*



**Ilustración 105. Volumen de inundación post proyecto. [Saltos, 2022]**

### 5.3.3. Cálculos de Volumen de Inundación

Para un más claro entendimiento de los resultados analizados, se puede calcular la reducción de volumen de inundación y su porcentaje, ya que con estos podemos hacer una mejor comparación y análisis de que tan optimo seria la construcción de la estructura de regulación.

$$\% \text{ Reducción de Volumen de Inundación} = 1 - \frac{\text{Volumen de Inundación 2}}{\text{Volumen de Inundación 1}}$$

$$\% \text{ Reducción de Volumen de Inundación} = 1 - \frac{55538.22}{72208.56}$$

$$\% \text{ Reducción de Volumen de Inundación} = 1 - 0.769 \approx 0.23 \approx 23\%$$

*Reducción de Volumen de Inundación*

$$= \text{Volumen de Inundación 1} - \text{Volumen de Inundación 2}$$

$$\begin{aligned} \text{Reducción de Volumen de Inundación} &= 72208.56 - 55538.22 \\ &= 16670.34 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

De los resultados mostrados previamente se puede indicar que con el trabajo propuesto los volúmenes anuales de inundación se reducen, en aproximadamente un 23%, lo que, de acuerdo con los cálculos representa una diferencia de 16670.34 m<sup>3</sup> de inundación.

## **6. CAPÍTULO VI: CONCEPCIÓN TÉCNICA DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL**

### **6.1. Descripción de la estructura técnica de control**

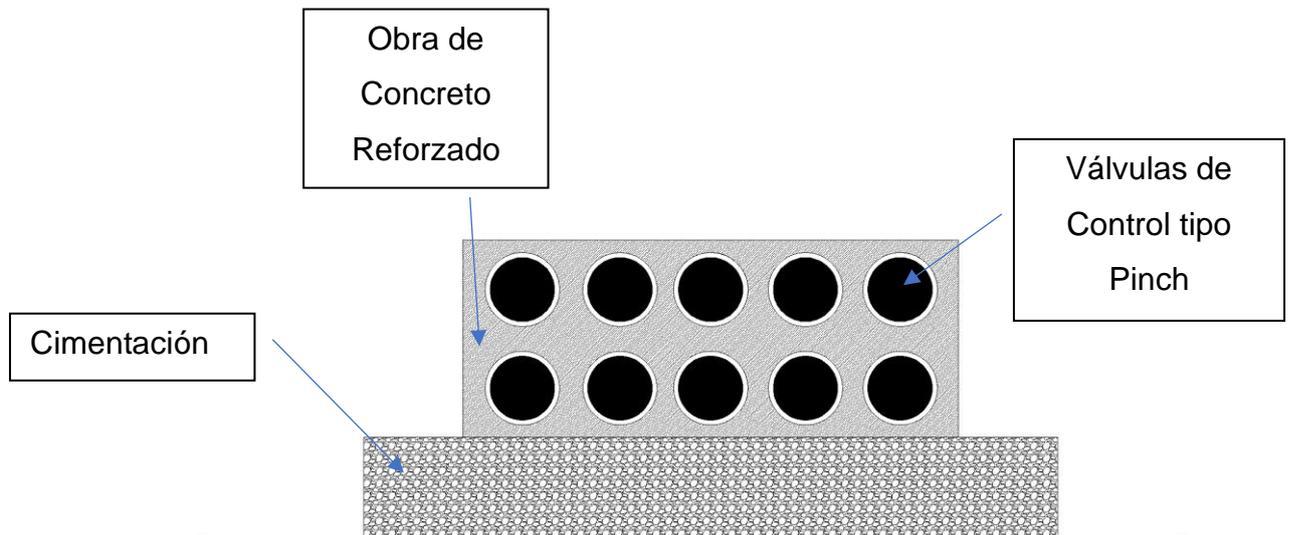
Se define como estructura de control o regulación a la composición de la instalación de un sistema de elementos de control de flujos de entrada y salida de aguas lluvia y a la obra civil sobre la cual se asentará. Este último consiste en la elaboración de una losa de cimentación, por lo que, para su diseño, este debe ser capaz de resistir el peso de los sistemas de control de agua. El sistema de control se detalla como un conjunto de válvulas tipo Pinch debido a su funcionamiento automático en dos flujos, es óptima para restringir el flujo de agua proveniente de la marea hacia el sistema. Estas válvulas serán situadas en una pantalla de hormigón que fije el elemento debidamente ante fuerzas hidráulicas.

### **6.2. Funcionamiento de la estructura técnica de control**

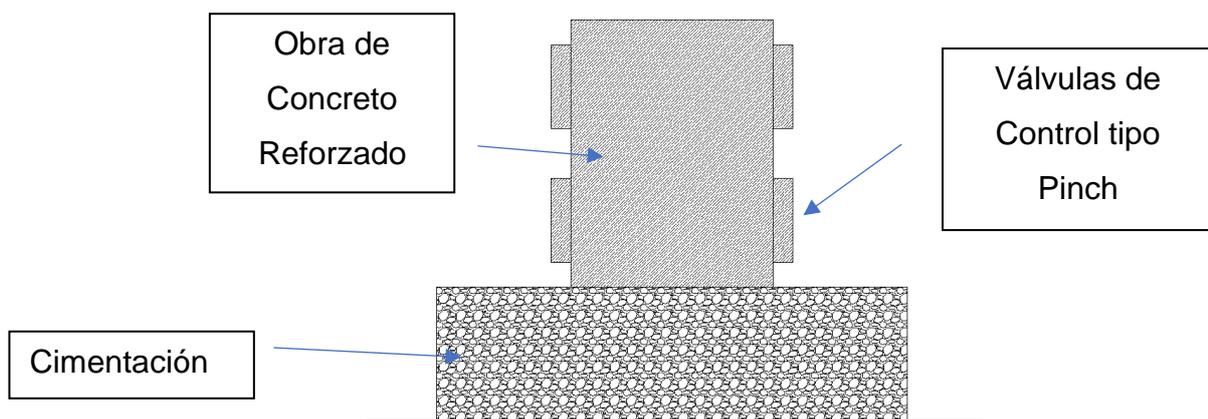
La funcionabilidad de este sistema permite que el ramal B trabaje a media capacidad bajo condiciones sin precipitaciones, sin embargo, ante fenómenos de marea alta, las válvulas Pinch evitarán el ingreso del agua proveniente del Estero Salado hacia el ramal, haciendo que el tramo B sirva como reservorio para aguas lluvias, por lo que su capacidad se usará como regulador de inundaciones de los colectores ahogados, y en su defecto, estos podrán funcionar de manera libre.

### **6.3. Esquemmatización de la estructura técnica de control**

Se prevé la siguiente esquematización de la estructura de control, este diseño no es construible, ni debe ser implementado hasta corroborar el número de válvulas necesarias para controlar el volumen de agua proveniente de la marea, a su vez, las dimensiones de este consideran al ancho del canal y a la cota de profundidad del punto de descarga, sin embargo, esta información es basada en información del Plan Maestro de Interagua realizado en el año 2002, por lo que es necesario corroborar que las condiciones sean las mismas antes de efectuar un diseño.

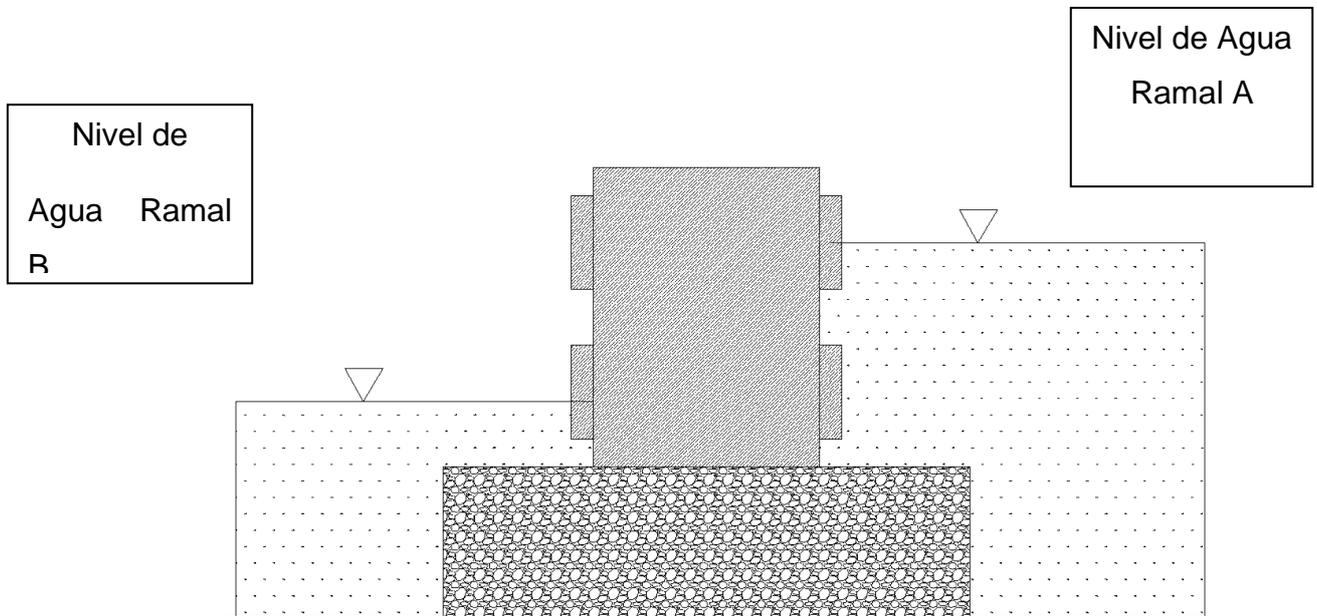


**Ilustración 106. Vista Frontal de la Estructura Regulación y/o Control [Saltos,2022]**



**Ilustración 107. Vista en Corte de la Estructura de Regulación y/o Control**

**[Saltos,2022]**



***Ilustración 108. Vista en Corte del Sistema de Regulación y/o Control con Niveles de Agua [Saltos, 2022]***

## CONCLUSIONES

Con las evaluaciones hidráulicas simuladas en el programa SWMM del sistema existente se pudo verificar los problemas que tiene el sistema de drenaje ante un evento hidrológico (2, 5, 10 y 25 años de periodo de recurrencia), y, a su vez se pudo cuantificar de manera aproximada los volúmenes de inundación en los nodos que trabajarán de manera ahogada y la ubicación de estos. Se verificó la ubicación de estos nodos (colectores) los cuales al correr las simulaciones estarían inundados debido a la precipitación y los niveles de marea propuestos para este trabajo llegando a un volumen de inundación total de 72208.56 m<sup>3</sup>.

Para la segunda simulación se planteó el proyecto de instalación de válvulas Pinch para el control del ingreso y salida de aguas del ramal B, con lo cual se podría además controlar el ingreso del nivel de agua de la marea que es un factor directamente proporcional a las inundaciones que sufren los colectores, en esta simulación se procedió a observar los valores de inundación de los mismos nodos (colectores) que la simulación sin proyecto, dándonos un volumen de inundación total de 55538.56 m<sup>3</sup>.

Comparando los dos escenarios, podemos decir que los volúmenes de inundación se reducirían en un 23% que es una diferencia de 16670.34 m<sup>3</sup>, por falta de información no es posible realizar una determinación exacta de la extensión de las áreas beneficiadas ni la reducción de daños, por lo que la alternativa con proyecto como se suponía en un inicio será una opción factible para reducir los valores de inundación que presenta el actual sistema de drenaje.

## RECOMENDACIONES

Para mejorar el funcionamiento del proyecto planteado en este trabajo también se podría cambiar los tramos de tubería que no tienen la capacidad suficiente para evacuar los caudales generados por las distintas precipitaciones, además de rediseñar los colectores para que estos puedan tener una mayor área de captación de caudales.

Se recomienda obtener una mayor información de la red de drenaje para hacer cálculos más exactos y precisos sobre los daños y mejoras posibles en el sistema, además de usar información más reciente para saber el estado de colectores, tuberías y colectores y tener simulaciones y resultados más apegados a la realidad.

Como última recomendación también se sugiere crear un incentivo de conciencia en la sociedad para mantener los colectores limpios y que se realicen mantenimiento periódicamente para que estos funcionen de manera adecuada y completamente para evitar inundaciones en los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aspiazu Salinas, E. (2020). *Evaluación del Proceso de Oxidación avanzada mediante catalizadores Minerales en el Agua del Estero Salado Tramo Viernes Santo Fragata*. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador.
- Betancor, L. (diciembre de 2014). *Scielo: Incidencia de la intensidad de lluvia en el tiempo de concentración de microcuencas del Uruguay*. Obtenido de [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482014000200012](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482014000200012)
- Briones Perez, S. (2021). *Sistematización y análisis de la Calidad del Agua del Tramo B del Estero Salado y su interrelación con el Desarrollo Urbano: ¿Mejora o Deterioro?* Guayaquil: Universidad Católica santiago de Guayaquil.
- Cabrera Muro, H. (1975). Origen y transporte de Sedimentos en Estuarios: Ciencias Marinas. En H. Cabrera Muro, *Origen y transporte de Sedimentos en Estuarios: Ciencias Marinas* (págs. 106-114). Oregon: Oregon State University.
- Campos Aranda, D. F. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis Potosi: Universidad Autónoma de San Luis Potosi.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Illinois: McGraw-Hill.
- EPA, (. S. (2005). *SWMM Modelo de Gestión de Aguas Pluviales*. Oregon: Oregon State University.
- LAHMEYER. (2000). *Informe final I*. Guayaquil.
- López Cualla, R. A. (1995). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- ONU. (2015). *Objetivo 14: Conservar y Utilizar Sosteniblemente los Océanos, los Mares y los Recursos Humanos*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/>
- Pérez-Sánchez, J. (septiembre de 2017). *SciELO: Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de Tormentas de Corta duración en la Cuenca del Río Segura, España*. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952017000600607](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000600607)
- Pineda Alvear, G. (2013). *Análisis de Medidas para Reducir Áreas de Inundación en el sistema de Alcantarillado de Urdesa que inicia en 4º callejón 12B NO y descarga en la intersección Ilanes y Malecón del Salado*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Rincon Ortiz, J. C. (agosto de 2013). *SciELO: Diseño Hidráulico de Sistemas de Drenaje Dual a través del Modelo SWMM*. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382013000200009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000200009)
- Vera Mutre, C. (2009). *Análisis Hidrológico de la Cuenca del Cerro Colorado y su Interacción con la Autopista Terminal Terrestre - Pascuales*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

## ANEXOS

### 7.1. Anexo 1. Datos de Marea para la Simulación

| Tiempo (hora) | Cota (msnm) |
|---------------|-------------|
| 0.000         | 1.92        |
| 0.167         | 1.97        |
| 0.333         | 2.01        |
| 0.500         | 2.05        |
| 0.667         | 2.10        |
| 0.833         | 2.14        |
| 1.000         | 2.19        |
| 1.167         | 2.24        |
| 1.333         | 2.29        |
| 1.500         | 2.33        |
| 1.667         | 2.36        |
| 1.833         | 2.38        |
| 2.000         | 2.30        |
| 2.167         | 2.29        |
| 2.333         | 2.25        |
| 2.500         | 2.17        |
| 2.667         | 2.06        |
| 2.833         | 1.92        |
| 3.000         | 1.74        |
| 3.167         | 1.52        |
| 3.333         | 1.28        |
| 3.500         | 1.02        |
| 3.667         | 0.74        |
| 3.833         | 0.45        |
| 4.000         | 0.16        |
| 4.167         | -0.12       |
| 4.333         | -0.39       |
| 4.500         | -0.63       |
| 4.667         | -0.85       |
| 4.833         | -1.04       |
| 5.000         | -1.20       |
| 5.167         | -1.32       |
| 5.333         | -1.42       |
| 5.500         | -1.50       |
| 5.667         | -1.56       |
| 5.833         | -1.61       |
| 6.000         | -1.66       |

| Tiempo (hora) | Cota (msnm) |
|---------------|-------------|
| 6.167         | -1.71       |
| 6.333         | -1.78       |
| 6.500         | -1.86       |
| 6.667         | -1.95       |
| 6.833         | -2.06       |
| 7.000         | -2.16       |
| 7.167         | -2.26       |
| 7.333         | -2.33       |
| 7.833         | -2.36       |
| 8.000         | -2.28       |
| 8.167         | -2.16       |
| 8.333         | -1.99       |
| 8.500         | -1.79       |
| 8.667         | -1.57       |
| 8.833         | -1.33       |
| 9.000         | -1.09       |
| 9.167         | -0.85       |
| 9.333         | -0.62       |
| 9.500         | -0.40       |
| 9.667         | -0.20       |
| 9.833         | 0.00        |
| 10.000        | 0.18        |
| 10.167        | 0.35        |
| 10.333        | 0.51        |
| 10.500        | 0.67        |
| 10.667        | 0.82        |
| 10.833        | 0.96        |
| 11.000        | 1.09        |
| 11.167        | 1.21        |
| 11.333        | 1.32        |
| 11.500        | 1.42        |
| 11.667        | 1.51        |
| 11.833        | 1.60        |
| 12.000        | 1.68        |
| 12.167        | 1.74        |
| 12.333        | 1.81        |
| 12.500        | 1.86        |

**7.2. Anexo 2. Tabla de Volúmenes de Inundación para un  $T_r = 2$  Años Sin Proyecto**

| Nodo  | Inundación (m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|
| B3    | 54865                        |
| B5    | 20893                        |
| B1    | 12781                        |
| N4140 | 5169                         |
| N2476 | 4838                         |
| N4138 | 4662                         |
| N866  | 4028                         |
| N4139 | 3804                         |
| N2270 | 3780                         |
| N4137 | 3447                         |
| N2390 | 3418                         |
| N2250 | 3146                         |
| N2577 | 2971                         |
| N1759 | 2954                         |
| N911  | 2711                         |
| B35   | 2671                         |
| N2389 | 2625                         |
| N859  | 2530                         |
| N1771 | 2448                         |
| N2067 | 2189                         |
| N2391 | 2152                         |
| N1863 | 2130                         |

| Nodo  | Inundación (m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|
| N1760 | 2026                         |
| N893  | 1968                         |
| B8    | 1855                         |
| N2653 | 1703                         |
| N2265 | 1682                         |
| N1772 | 1421                         |
| N2078 | 1341                         |
| N915  | 1334                         |
| B19   | 1311                         |
| N1770 | 1261                         |
| N2393 | 1238                         |
| N2267 | 1234                         |
| N2392 | 1147                         |
| N862  | 1145                         |
| N861  | 1101                         |
| N2043 | 1070                         |
| N672  | 1062                         |
| N891  | 1032                         |
| N892  | 1013                         |
| N2077 | 996                          |
| N1864 | 988                          |
| N2402 | 883                          |

| Nodo  | Inundación (m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|
| N868  | 836                          |
| N2492 | 815                          |
| N1862 | 786                          |
| N1762 | 785                          |
| N2403 | 776                          |
| N2388 | 754                          |
| N914  | 734                          |
| N2044 | 726                          |
| N2187 | 700                          |
| N2189 | 684                          |
| N1613 | 641                          |
| N2184 | 639                          |
| N674  | 635                          |
| N2176 | 621                          |
| N673  | 620                          |
| N2249 | 575                          |
| B16   | 525                          |
| N1867 | 504                          |
| N1716 | 501                          |
| N858  | 475                          |
| N1751 | 474                          |
| N860  | 464                          |

| Nodo  | Inundación (m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|
| N2473 | 463                          |
| N2193 | 459                          |
| N2056 | 449                          |
| B39   | 447                          |
| N164  | 440                          |
| N1098 | 434                          |
| N1753 | 412                          |
| N2271 | 407                          |
| N1761 | 402                          |
| B12   | 390                          |
| N905  | 385                          |
| N2477 | 378                          |
| N916  | 367                          |
| N2266 | 309                          |
| N2181 | 307                          |
| B22   | 264                          |
| N2182 | 258                          |
| N913  | 258                          |
| N1612 | 219                          |
| N2188 | 198                          |
| N1773 | 188                          |
| N2576 | 177                          |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N1861       | 172                    |
| N2401       | 160                    |
| B26         | 150                    |
| N2654       | 146                    |
| N1225       | 145                    |
| N2472       | 145                    |
| N2562       | 134                    |
| N2384       | 116                    |
| N904        | 111                    |
| B40         | 111                    |
| N865        | 109                    |
| B24         | 104                    |
| N970        | 102                    |
| N2055       | 94                     |
| N2385       | 88                     |
| N2383       | 76                     |
| N92         | 73                     |
| N1437       | 71                     |
| N4097       | 66                     |
| N2080       | 65                     |
| N2082       | 61                     |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N93         | 52                     |
| N912        | 51                     |
| N2071       | 49                     |
| N2070       | 39                     |
| N960        | 36                     |
| B13         | 33                     |
| N2560       | 33                     |
| N2470       | 31                     |
| N2081       | 31                     |
| N959        | 27                     |
| N961        | 27                     |
| N2075       | 27                     |
| N1878       | 26                     |
| N2186       | 25                     |
| N2262       | 24                     |
| N2076       | 23                     |
| N2404       | 22                     |
| N2074       | 19                     |
| N958        | 18                     |
| N1865       | 18                     |
| N165        | 17                     |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2400       | 16                     |
| N175        | 13                     |
| N909        | 10                     |
| N1764       | 9                      |
| N1765       | 8                      |
| N2561       | 8                      |
| N1535       | 7                      |
| N902        | 7                      |
| N1412       | 6                      |
| N718        | 5                      |
| N1537       | 5                      |
| N2057       | 4                      |
| N908        | 4                      |
| N719        | 3                      |
| N312        | 3                      |
| N1610       | 3                      |
| N173        | 3                      |
| N910        | 2                      |
| N1777       | 2                      |
| N1411       | 2                      |
| N2264       | 1                      |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2183       | 1                      |
| N176        | 1                      |
| N1408       | 1                      |
| N2475       | 1                      |
| N1438       | 1                      |
| N1752       | 1                      |
| N2474       | 0                      |
| N178        | 0                      |
| N233        | 0                      |
| N2059       | 0                      |
| N675        | 0                      |
| N1407       | 0                      |
| N91         | 0                      |
| N2670       | 0                      |
| N1409       | 0                      |
| N1879       | 0                      |
| N1410       | 0                      |
| N1539       | 0                      |
| N907        | 0                      |
| N2058       | 0                      |

**7.3. Anexo 2. Tabla de Volúmenes de Inundación para un  $T_r = 5$  Años Sin Proyecto**

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N91         | 0.016                             |
| N92         | 0.241                             |
| N93         | 0.207                             |
| N163        | 0.08                              |
| N164        | 1.768                             |
| N165        | 0.194                             |
| N173        | 3.554                             |
| N175        | 0.021                             |
| N176        | 0.74                              |
| N177        | 0.206                             |
| N178        | 0.013                             |
| N232        | 0.002                             |
| N233        | 0.213                             |
| N270        | 0.328                             |
| N271        | 0.266                             |
| N312        | 0.001                             |
| N672        | 1.299                             |
| N673        | 0.866                             |
| N674        | 0.898                             |
| N675        | 0.602                             |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N676        | 0.003                             |

| N718        | 0.655                             |
|-------------|-----------------------------------|
| N719        | 0.461                             |
| N858        | 0.79                              |
| N859        | 4.169                             |
| N860        | 0.886                             |
| N861        | 2.058                             |
| N862        | 2.483                             |
| N865        | 0.695                             |
| N866        | 5.701                             |
| N868        | 1.262                             |
| N891        | 1.913                             |
| N892        | 0.751                             |
| N893        | 2.363                             |
| N902        | 0.007                             |
| N903        | 4.318                             |
| N904        | 0.843                             |
| N905        | 1.1                               |
| N907        | 0.45                              |
| N908        | 0.004                             |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N909        | 0.01                              |
| N910        | 0.002                             |
| N911        | 5.065                             |

| N912        | 0.549                             |
|-------------|-----------------------------------|
| N913        | 1.282                             |
| N914        | 1.31                              |
| N915        | 1.683                             |
| N916        | 0.567                             |
| N948        | 0                                 |
| N958        | 0.014                             |
| N959        | 0.017                             |
| N960        | 0.033                             |
| N961        | 0.028                             |
| N970        | 0.103                             |
| N1098       | 0.624                             |
| N1225       | 0.402                             |
| N1264       | 0.001                             |
| N1265       | 0.024                             |
| N1280       | 0                                 |
| N1407       | 0.227                             |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N1408       | 0.221                             |
| N1409       | 0.08                              |
| N1410       | 0                                 |
| N1411       | 0.002                             |
| N1412       | 0.006                             |

| N1414       | 0.003                             |
|-------------|-----------------------------------|
| N1437       | 0.824                             |
| N1438       | 0.733                             |
| N1452       | 0.394                             |
| N1458       | 0                                 |
| N1535       | 0.002                             |
| N1610       | 0.921                             |
| N1611       | 0.57                              |
| N1612       | 1.156                             |
| N1613       | 2.166                             |
| N1716       | 0.642                             |
| N1751       | 0.588                             |
| N1752       | 0.001                             |
| N1753       | 0.492                             |
| N1759       | 3.906                             |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N1760       | 2.987                             |
| N1761       | 0.437                             |
| N1762       | 1.565                             |
| N1764       | 0.011                             |
| N1765       | 0.012                             |
| N1770       | 2.061                             |
| N1771       | 3.614                             |

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| N1772       | 2.958                             |
| N1773       | 1.653                             |
| N1777       | 0.898                             |
| N1861       | 0.273                             |
| N1862       | 1.662                             |
| N1863       | 3.808                             |
| N1864       | 1.953                             |
| N1865       | 0.018                             |
| N1867       | 1.572                             |
| N1878       | 0.698                             |
| N1879       | 0                                 |
| N2043       | 2.103                             |
| N2044       | 1.184                             |
| N2054       | 0                                 |
| N2055       | 0.813                             |
| N2056       | 1.385                             |
| N2057       | 0.007                             |
| N2058       | 1.329                             |
| N2059       | 0.002                             |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N2067       | 4.873                             |
| N2070       | 0.132                             |
| N2071       | 0.16                              |
| N2074       | 0.006                             |
| N2075       | 0.015                             |
| N2076       | 0.251                             |
| N2077       | 2.028                             |

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| N2078       | 2.462                             |
| N2080       | 0.06                              |
| N2081       | 0.029                             |
| N2082       | 0.268                             |
| N2176       | 1.231                             |
| N2181       | 0.406                             |
| N2182       | 0.293                             |
| N2183       | 0                                 |
| N2184       | 1.244                             |
| N2186       | 0.007                             |
| N2187       | 1.722                             |
| N2188       | 0.493                             |
| N2189       | 2.952                             |
| N2193       | 1.465                             |
| N2249       | 1.109                             |
| N2250       | 4.214                             |
| N2262       | 0.491                             |
| N2263       | 0.369                             |
| N2264       | 0.543                             |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N2265       | 3.021                             |
| N2266       | 0.838                             |
| N2267       | 2.33                              |
| N2270       | 8.05                              |
| N2271       | 0.821                             |
| N2383       | 0.905                             |
| N2384       | 0.302                             |

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| N2385       | 0.015                             |
| N2388       | 3.149                             |
| N2389       | 5.272                             |
| N2390       | 6.319                             |
| N2391       | 5.829                             |
| N2392       | 3.173                             |
| N2393       | 2.708                             |
| N2400       | 0.012                             |
| N2401       | 0.625                             |
| N2402       | 1.372                             |
| N2403       | 1.249                             |
| N2404       | 0.015                             |
| N2470       | 0.03                              |
| N2472       | 0.193                             |
| N2473       | 1.716                             |
| N2475       | 0.072                             |
| N2476       | 6.782                             |
| N2477       | 0.648                             |
| N2492       | 1.625                             |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N2560       | 0.339                             |
| N2561       | 0.092                             |
| N2562       | 0.527                             |
| N2576       | 0.971                             |
| N2577       | 3.719                             |
| N2653       | 3.246                             |
| N2654       | 0.594                             |

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| N2670       | 0.46                              |
| N3496       | 5.235                             |
| N3509       | 0.83                              |
| N3510       | 1.289                             |
| N3511       | 1.267                             |
| N4093       | 0.032                             |
| N4094       | 0.168                             |
| N4095       | 0.326                             |
| N4096       | 0.676                             |
| N4097       | 2.655                             |
| N4101       | 0.267                             |
| N4137       | 4.863                             |
| N4138       | 6.607                             |
| N4139       | 6.565                             |
| N4140       | 7.455                             |
| N4148       | 0.185                             |
| N4149       | 0.837                             |
| N4160       | 0.004                             |
| N4161       | 0.002                             |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N4162       | 0.002                             |
| B1          | 14.892                            |
| B3          | 90.36                             |
| B5          | 20.893                            |
| B8          | 1.855                             |
| B12         | 0.39                              |
| B13         | 0.033                             |

|     |       |
|-----|-------|
| B16 | 0.525 |
| B19 | 1.311 |
| B22 | 0.264 |
| B24 | 0.104 |
| B26 | 0.15  |
| B35 | 2.671 |
| B39 | 0.447 |
| B40 | 0.111 |

**7.4. Anexo 4. Tabla de Volúmenes de Inundación para un  $T_r = 10$  Años Sin Proyecto**

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N91         | 207                               |
| N92         | 389                               |
| N93         | 362                               |
| N163        | 227                               |
| N164        | 3027                              |
| N165        | 340                               |
| N173        | 7488                              |
| N175        | 415                               |
| N176        | 990                               |
| N177        | 505                               |
| N178        | 148                               |
| N232        | 674                               |
| N233        | 886                               |
| N270        | 1200                              |
| N271        | 1038                              |
| N311        | 0                                 |
| N312        | 0                                 |
| N672        | 1643                              |
| N673        | 1431                              |
| N674        | 1284                              |
| N675        | 1544                              |
| N676        | 510                               |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N718        | 1366                              |
| N719        | 1326                              |
| N858        | 1104                              |
| N859        | 5825                              |
| N860        | 1197                              |
| N861        | 3122                              |
| N862        | 3953                              |
| N865        | 1190                              |
| N866        | 6400                              |
| N868        | 1699                              |
| N891        | 2857                              |
| N892        | 705                               |
| N893        | 2799                              |
| N899        | 29                                |
| N902        | 8                                 |
| N903        | 6535                              |
| N904        | 1438                              |
| N905        | 1693                              |
| N907        | 1074                              |
| N908        | 4                                 |
| N909        | 10                                |
| N910        | 2                                 |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N911        | 7259                              |
| N912        | 2291                              |
| N913        | 2528                              |
| N914        | 1850                              |
| N915        | 2043                              |
| N916        | 1397                              |
| N948        | 498                               |
| N958        | 20                                |
| N959        | 30                                |
| N960        | 41                                |
| N961        | 27                                |
| N970        | 102                               |
| N1098       | 806                               |
| N1225       | 610                               |
| N1259       | 7                                 |
| N1260       | 0                                 |
| N1264       | 71                                |
| N1265       | 386                               |
| N1280       | 9                                 |
| N1340       | 2                                 |
| N1341       | 433                               |
| N1342       | 1                                 |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N1343       | 0                                 |
| N1344       | 0                                 |
| N1407       | 541                               |
| N1408       | 536                               |
| N1409       | 305                               |
| N1410       | 174                               |
| N1411       | 3                                 |
| N1412       | 6                                 |
| N1414       | 8                                 |
| N1437       | 1484                              |
| N1438       | 1387                              |
| N1452       | 994                               |
| N1458       | 21                                |
| N1535       | 3                                 |
| N1610       | 1443                              |
| N1611       | 1142                              |
| N1612       | 1544                              |
| N1613       | 2129                              |
| N1716       | 996                               |
| N1751       | 707                               |
| N1752       | 1                                 |
| N1753       | 581                               |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N1759       | 4763                   |
| N1760       | 3865                   |
| N1761       | 538                    |
| N1762       | 2359                   |
| N1764       | 13                     |
| N1765       | 13                     |
| N1770       | 2904                   |
| N1771       | 4697                   |
| N1772       | 4821                   |
| N1773       | 2938                   |
| N1774       | 298                    |
| N1777       | 1557                   |
| N1778       | 1                      |
| N1861       | 362                    |
| N1862       | 2632                   |
| N1863       | 5579                   |
| N1864       | 3086                   |
| N1865       | 18                     |
| N1866       | 97                     |
| N1867       | 2829                   |
| N1878       | 1358                   |
| N1879       | 227                    |
| N2043       | 3196                   |
| N2044       | 1642                   |
| N2054       | 0                      |
| N2055       | 1780                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2056       | 2204                   |
| N2057       | 160                    |
| N2058       | 3886                   |
| N2059       | 5                      |
| N2067       | 8141                   |
| N2070       | 638                    |
| N2071       | 448                    |
| N2072       | 1                      |
| N2073       | 1                      |
| N2074       | 248                    |
| N2075       | 229                    |
| N2076       | 902                    |
| N2077       | 3176                   |
| N2078       | 3597                   |
| N2080       | 141                    |
| N2081       | 4                      |
| N2082       | 559                    |
| N2176       | 1834                   |
| N2181       | 559                    |
| N2182       | 404                    |
| N2184       | 1896                   |
| N2186       | 10                     |
| N2187       | 3145                   |
| N2188       | 958                    |
| N2189       | 6008                   |
| N2193       | 2341                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2249       | 1339                   |
| N2250       | 4915                   |
| N2258       | 36                     |
| N2259       | 103                    |
| N2261       | 153                    |
| N2262       | 146                    |
| N2263       | 1888                   |
| N2264       | 1542                   |
| N2265       | 4124                   |
| N2266       | 1474                   |
| N2267       | 3425                   |
| N2270       | 12856                  |
| N2271       | 1302                   |
| N2383       | 1667                   |
| N2384       | 802                    |
| N2385       | 517                    |
| N2388       | 5569                   |
| N2389       | 7794                   |
| N2390       | 8918                   |
| N2391       | 8250                   |
| N2392       | 5823                   |
| N2393       | 4536                   |
| N2400       | 36                     |
| N2401       | 1202                   |
| N2402       | 1938                   |
| N2403       | 1804                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2404       | 32                     |
| N2470       | 23                     |
| N2472       | 261                    |
| N2473       | 2778                   |
| N2474       | 0                      |
| N2475       | 398                    |
| N2476       | 8129                   |
| N2477       | 858                    |
| N2492       | 2319                   |
| N2560       | 504                    |
| N2561       | 350                    |
| N2562       | 951                    |
| N2576       | 1601                   |
| N2577       | 4307                   |
| N2653       | 4893                   |
| N2654       | 1135                   |
| N2670       | 1504                   |
| N3496       | 10307                  |
| N3509       | 1375                   |
| N3510       | 1591                   |
| N3511       | 1551                   |
| N4093       | 384                    |
| N4094       | 792                    |
| N4095       | 919                    |
| N4096       | 1436                   |
| N4097       | 5158                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N4101       | 1588                              |
| N4137       | 8378                              |
| N4138       | 11175                             |
| N4139       | 9227                              |
| N4140       | 9551                              |
| N4147       | 0                                 |
| N4148       | 1361                              |
| N4149       | 1989                              |
| N4160       | 0                                 |
| N4161       | 0                                 |
| N4162       | 1                                 |
| B1          | 15459                             |
| B3          | 131124                            |
| B5          | 20893                             |
| B8          | 1855                              |
| B12         | 390                               |
| B13         | 33                                |
| B16         | 525                               |
| B19         | 1311                              |
| B22         | 264                               |
| B24         | 104                               |
| B26         | 150                               |
| B35         | 2671                              |
| B39         | 447                               |
| B40         | 111                               |

**7.5. Anexo 5. Tabla de Volúmenes de Inundación para un  $T_r = 25$  Años Sin Proyecto**

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N91         | 315                               |
| N92         | 470                               |
| N93         | 429                               |
| N163        | 297                               |
| N164        | 3627                              |
| N165        | 406                               |
| N173        | 9531                              |
| N175        | 663                               |
| N176        | 1233                              |
| N177        | 751                               |
| N178        | 380                               |
| N232        | 1008                              |
| N233        | 1234                              |
| N270        | 1868                              |
| N271        | 1491                              |
| N311        | 1                                 |
| N312        | 0                                 |
| N672        | 1828                              |
| N673        | 1936                              |
| N674        | 1485                              |
| N675        | 2205                              |
| N676        | 839                               |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N718        | 1838                              |
| N719        | 1827                              |
| N858        | 1211                              |
| N859        | 6449                              |
| N860        | 1409                              |
| N861        | 3660                              |
| N862        | 4858                              |
| N865        | 1355                              |
| N866        | 6599                              |
| N868        | 1839                              |
| N891        | 3181                              |
| N892        | 762                               |
| N893        | 2900                              |
| N899        | 408                               |
| N902        | 7                                 |
| N903        | 7488                              |
| N904        | 1695                              |
| N905        | 1949                              |
| N907        | 1348                              |
| N908        | 4                                 |
| N909        | 10                                |
| N910        | 2                                 |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N911        | 7816                              |
| N912        | 3633                              |
| N913        | 2688                              |
| N914        | 2103                              |
| N915        | 2211                              |
| N916        | 1858                              |
| N934        | 0                                 |
| N948        | 1086                              |
| N958        | 15                                |
| N959        | 15                                |
| N960        | 29                                |
| N961        | 27                                |
| N970        | 100                               |
| N1098       | 883                               |
| N1225       | 794                               |
| N1259       | 239                               |
| N1260       | 1                                 |
| N1264       | 503                               |
| N1265       | 1048                              |
| N1280       | 162                               |
| N1340       | 92                                |
| N1341       | 765                               |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N1342       | 9                                 |
| N1343       | 5                                 |
| N1344       | 3                                 |
| N1407       | 778                               |
| N1408       | 771                               |
| N1409       | 466                               |
| N1410       | 388                               |
| N1411       | 5                                 |
| N1412       | 7                                 |
| N1414       | 5                                 |
| N1437       | 1779                              |
| N1438       | 1676                              |
| N1452       | 1337                              |
| N1458       | 362                               |
| N1535       | 17                                |
| N1537       | 18                                |
| N1538       | 7                                 |
| N1539       | 4                                 |
| N1540       | 0                                 |
| N1610       | 1694                              |
| N1611       | 1413                              |
| N1612       | 1805                              |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N1613       | 2370                   |
| N1716       | 1210                   |
| N1751       | 747                    |
| N1752       | 29                     |
| N1753       | 645                    |
| N1759       | 5066                   |
| N1760       | 4175                   |
| N1761       | 588                    |
| N1762       | 2595                   |
| N1764       | 9                      |
| N1765       | 9                      |
| N1770       | 3240                   |
| N1771       | 5137                   |
| N1772       | 5672                   |
| N1773       | 3397                   |
| N1774       | 967                    |
| N1777       | 1832                   |
| N1778       | 0                      |
| N1861       | 393                    |
| N1862       | 3100                   |
| N1863       | 6460                   |
| N1864       | 3679                   |
| N1865       | 18                     |
| N1866       | 242                    |
| N1867       | 3436                   |
| N1878       | 1531                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N1879       | 317                    |
| N2043       | 3828                   |
| N2044       | 1821                   |
| N2055       | 2183                   |
| N2056       | 2452                   |
| N2057       | 349                    |
| N2058       | 5495                   |
| N2059       | 8                      |
| N2067       | 9675                   |
| N2070       | 844                    |
| N2071       | 592                    |
| N2074       | 680                    |
| N2075       | 372                    |
| N2076       | 1395                   |
| N2077       | 3573                   |
| N2078       | 3989                   |
| N2080       | 291                    |
| N2081       | 18                     |
| N2082       | 685                    |
| N2176       | 2123                   |
| N2181       | 639                    |
| N2182       | 492                    |
| N2183       | 0                      |
| N2184       | 2185                   |
| N2186       | 0                      |
| N2187       | 3789                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2188       | 1211                   |
| N2189       | 7547                   |
| N2193       | 2704                   |
| N2249       | 1380                   |
| N2250       | 5999                   |
| N2258       | 83                     |
| N2259       | 230                    |
| N2261       | 645                    |
| N2262       | 561                    |
| N2263       | 2461                   |
| N2264       | 1948                   |
| N2265       | 4470                   |
| N2266       | 1786                   |
| N2267       | 3798                   |
| N2270       | 15154                  |
| N2271       | 1491                   |
| N2383       | 2178                   |
| N2384       | 1064                   |
| N2385       | 713                    |
| N2388       | 6570                   |
| N2389       | 8726                   |
| N2390       | 9766                   |
| N2391       | 8965                   |
| N2392       | 6766                   |
| N2393       | 5534                   |
| N2400       | 4                      |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2401       | 1393                   |
| N2402       | 2160                   |
| N2403       | 2073                   |
| N2404       | 10                     |
| N2470       | 23                     |
| N2472       | 370                    |
| N2473       | 3044                   |
| N2474       | 168                    |
| N2475       | 539                    |
| N2476       | 9227                   |
| N2477       | 921                    |
| N2492       | 2541                   |
| N2560       | 558                    |
| N2561       | 440                    |
| N2562       | 1138                   |
| N2576       | 1876                   |
| N2577       | 4575                   |
| N2653       | 5707                   |
| N2654       | 1305                   |
| N2670       | 2175                   |
| N3496       | 11780                  |
| N3503       | 314                    |
| N3508       | 170                    |
| N3509       | 1717                   |
| N3510       | 1895                   |
| N3511       | 1816                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N4093       | 588                    |
| N4094       | 1023                   |
| N4095       | 1179                   |
| N4096       | 1762                   |
| N4097       | 5703                   |
| N4101       | 2196                   |
| N4137       | 9066                   |
| N4138       | 12551                  |
| N4139       | 11276                  |
| N4140       | 11238                  |
| N4142       | 43                     |
| N4143       | 5                      |
| N4144       | 131                    |
| N4145       | 9                      |
| N4146       | 225                    |
| N4147       | 392                    |
| N4148       | 1847                   |
| N4149       | 2489                   |
| N4160       | 0                      |
| N4161       | 0                      |
| N4162       | 205                    |
| B1          | 12387                  |
| B3          | 153312                 |
| B5          | 20893                  |
| B8          | 1855                   |
| B12         | 390                    |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| B13         | 33                     |
| B16         | 525                    |
| B19         | 1311                   |
| B22         | 264                    |
| B24         | 104                    |
| B26         | 150                    |
| B35         | 2671                   |
| B39         | 447                    |
| B40         | 111                    |

**7.6. Anexo 6. Tabla de Volúmenes de Inundación para un  $T_r = 2$  Años Con Proyecto**

| Nodo | Inundación (m <sup>3</sup> ) |
|------|------------------------------|
| N91  | 0                            |
| N92  | 70                           |
| N93  | 48                           |
| N163 | 0                            |
| N164 | 400                          |
| N165 | 11                           |
| N173 | 1                            |
| N175 | 4                            |
| N176 | 0                            |
| N233 | 0                            |
| N312 | 1                            |
| N672 | 325                          |
| N673 | 16                           |
| N674 | 29                           |
| N718 | 3                            |
| N719 | 1                            |
| N858 | 468                          |
| N859 | 2493                         |
| N860 | 459                          |
| N861 | 1062                         |
| N862 | 1132                         |
| N866 | 4012                         |

| Nodo  | Inundación (m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|
| N868  | 794                          |
| N891  | 933                          |
| N892  | 12                           |
| N893  | 1679                         |
| N902  | 4                            |
| N904  | 90                           |
| N905  | 379                          |
| N908  | 5                            |
| N909  | 16                           |
| N910  | 5                            |
| N911  | 2523                         |
| N912  | 1                            |
| N913  | 110                          |
| N914  | 468                          |
| N915  | 830                          |
| N916  | 0                            |
| N958  | 8                            |
| N959  | 2                            |
| N960  | 27                           |
| N961  | 20                           |
| N970  | 105                          |
| N1098 | 431                          |

| Nodo  | Inundación (m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|
| N1225 | 139                          |
| N1407 | 0                            |
| N1408 | 0                            |
| N1409 | 0                            |
| N1411 | 1                            |
| N1412 | 8                            |
| N1437 | 67                           |
| N1438 | 0                            |
| N1535 | 2                            |
| N1610 | 0                            |
| N1612 | 207                          |
| N1613 | 631                          |
| N1716 | 5                            |
| N1751 | 433                          |
| N1752 | 1                            |
| N1753 | 139                          |
| N1759 | 2944                         |
| N1760 | 2008                         |
| N1761 | 30                           |
| N1762 | 544                          |
| N1764 | 7                            |
| N1765 | 3                            |

| Nodo  | Inundación (m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|
| N1770 | 887                          |
| N1771 | 2200                         |
| N1772 | 1267                         |
| N1773 | 139                          |
| N1777 | 2                            |
| N1861 | 112                          |
| N1862 | 746                          |
| N1863 | 2076                         |
| N1864 | 914                          |
| N1865 | 12                           |
| N1867 | 500                          |
| N1878 | 24                           |
| N2043 | 1060                         |
| N2044 | 704                          |
| N2055 | 94                           |
| N2056 | 436                          |
| N2057 | 10                           |
| N2058 | 0                            |
| N2067 | 2085                         |
| N2070 | 0                            |
| N2071 | 0                            |
| N2074 | 0                            |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2075       | 0                      |
| N2076       | 0                      |
| N2077       | 855                    |
| N2078       | 1280                   |
| N2080       | 1                      |
| N2081       | 1                      |
| N2082       | 1                      |
| N2176       | 476                    |
| N2181       | 101                    |
| N2182       | 3                      |
| N2184       | 628                    |
| N2185       | 0                      |
| N2186       | 19                     |
| N2187       | 700                    |
| N2188       | 195                    |
| N2189       | 684                    |
| N2193       | 425                    |
| N2249       | 23                     |
| N2250       | 0                      |
| N2262       | 0                      |
| N2264       | 0                      |
| N2265       | 1631                   |
| N2266       | 166                    |
| N2267       | 1188                   |
| N2270       | 3774                   |
| N2271       | 387                    |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2383       | 22                     |
| N2388       | 655                    |
| N2389       | 2550                   |
| N2390       | 3346                   |
| N2391       | 2100                   |
| N2392       | 937                    |
| N2393       | 939                    |
| N2400       | 2                      |
| N2401       | 141                    |
| N2402       | 827                    |
| N2403       | 659                    |
| N2404       | 5                      |
| N2470       | 1                      |
| N2472       | 53                     |
| N2473       | 459                    |
| N2475       | 0                      |
| N2476       | 509                    |
| N2477       | 358                    |
| N2492       | 801                    |
| N2560       | 16                     |
| N2561       | 0                      |
| N2562       | 73                     |
| N2576       | 172                    |
| N2577       | 2869                   |
| N2653       | 1677                   |
| N2654       | 112                    |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2670       | 0                      |
| N4097       | 68                     |
| N4137       | 38                     |
| N4138       | 0                      |
| N4139       | 0                      |
| N4140       | 3                      |
| B1          | 11837                  |
| B3          | 56876                  |
| B5          | 20947                  |
| B8          | 1781                   |
| B12         | 390                    |
| B13         | 33                     |
| B16         | 524                    |
| B19         | 1319                   |
| B22         | 264                    |
| B24         | 104                    |
| B26         | 150                    |
| B35         | 2671                   |
| B39         | 447                    |
| B40         | 111                    |

**7.7. Anexo 7. Tabla de Volúmenes de Inundación para un  $T_r = 5$  Años Con Proyecto**

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N91         | 14                                |
| N92         | 235                               |
| N93         | 203                               |
| N163        | 69                                |
| N164        | 1754                              |
| N165        | 183                               |
| N173        | 3272                              |
| N175        | 17                                |
| N176        | 528                               |
| N178        | 1                                 |
| N232        | 1                                 |
| N233        | 212                               |
| N270        | 214                               |
| N271        | 242                               |
| N672        | 545                               |
| N673        | 116                               |
| N674        | 42                                |
| N675        | 597                               |
| N676        | 1                                 |
| N718        | 652                               |
| N719        | 455                               |
| N858        | 776                               |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N859        | 4145                              |
| N860        | 856                               |
| N861        | 2037                              |
| N862        | 2475                              |
| N865        | 653                               |
| N866        | 5607                              |
| N868        | 1197                              |
| N891        | 1791                              |
| N892        | 19                                |
| N893        | 2176                              |
| N902        | 5                                 |
| N903        | 4169                              |
| N904        | 829                               |
| N905        | 1096                              |
| N907        | 446                               |
| N908        | 5                                 |
| N909        | 16                                |
| N910        | 5                                 |
| N911        | 4945                              |
| N912        | 523                               |
| N913        | 1072                              |
| N914        | 1086                              |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N915        | 1326                              |
| N916        | 90                                |
| N948        | 0                                 |
| N958        | 8                                 |
| N959        | 2                                 |
| N960        | 27                                |
| N961        | 20                                |
| N970        | 105                               |
| N1098       | 620                               |
| N1225       | 399                               |
| N1264       | 0                                 |
| N1265       | 0                                 |
| N1280       | 0                                 |
| N1407       | 222                               |
| N1408       | 215                               |
| N1409       | 79                                |
| N1411       | 1                                 |
| N1412       | 8                                 |
| N1414       | 0                                 |
| N1437       | 819                               |
| N1438       | 730                               |
| N1452       | 357                               |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N1458       | 1                                 |
| N1535       | 2                                 |
| N1610       | 915                               |
| N1611       | 572                               |
| N1612       | 1022                              |
| N1613       | 1667                              |
| N1716       | 103                               |
| N1751       | 559                               |
| N1752       | 1                                 |
| N1753       | 241                               |
| N1759       | 3877                              |
| N1760       | 2944                              |
| N1761       | 189                               |
| N1762       | 1371                              |
| N1764       | 7                                 |
| N1765       | 3                                 |
| N1770       | 1860                              |
| N1771       | 3421                              |
| N1772       | 2902                              |
| N1773       | 1626                              |
| N1777       | 895                               |
| N1861       | 219                               |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N1862       | 1630                   |
| N1863       | 3767                   |
| N1864       | 1890                   |
| N1865       | 12                     |
| N1867       | 1570                   |
| N1878       | 672                    |
| N2043       | 2094                   |
| N2044       | 1150                   |
| N2055       | 781                    |
| N2056       | 1346                   |
| N2057       | 10                     |
| N2058       | 1328                   |
| N2059       | 1                      |
| N2067       | 4837                   |
| N2070       | 77                     |
| N2071       | 109                    |
| N2074       | 1                      |
| N2075       | 8                      |
| N2076       | 245                    |
| N2077       | 1984                   |
| N2078       | 2398                   |
| N2080       | 1                      |
| N2081       | 1                      |
| N2082       | 222                    |
| N2176       | 1099                   |
| N2181       | 201                    |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2182       | 2                      |
| N2184       | 1235                   |
| N2186       | 20                     |
| N2187       | 1693                   |
| N2188       | 490                    |
| N2189       | 2953                   |
| N2193       | 1357                   |
| N2249       | 23                     |
| N2250       | 0                      |
| N2262       | 0                      |
| N2263       | 366                    |
| N2264       | 538                    |
| N2265       | 2959                   |
| N2266       | 715                    |
| N2267       | 2261                   |
| N2270       | 8051                   |
| N2271       | 796                    |
| N2383       | 898                    |
| N2384       | 301                    |
| N2385       | 21                     |
| N2388       | 3121                   |
| N2389       | 5218                   |
| N2390       | 6269                   |
| N2391       | 5745                   |
| N2392       | 2911                   |
| N2393       | 2680                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2400       | 2                      |
| N2401       | 616                    |
| N2402       | 1317                   |
| N2403       | 1161                   |
| N2404       | 5                      |
| N2470       | 1                      |
| N2472       | 85                     |
| N2473       | 1664                   |
| N2475       | 74                     |
| N2476       | 795                    |
| N2477       | 653                    |
| N2492       | 1593                   |
| N2560       | 339                    |
| N2561       | 94                     |
| N2562       | 505                    |
| N2576       | 967                    |
| N2577       | 3624                   |
| N2653       | 3226                   |
| N2654       | 552                    |
| N2670       | 459                    |
| N3496       | 4989                   |
| N3509       | 816                    |
| N3510       | 988                    |
| N3511       | 949                    |
| N4093       | 18                     |
| N4097       | 672                    |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N4101       | 171                    |
| N4137       | 346                    |
| N4138       | 0                      |
| N4139       | 0                      |
| N4140       | 3                      |
| N4148       | 183                    |
| N4149       | 836                    |
| N4160       | 0                      |
| N4162       | 0                      |
| B1          | 15550                  |
| B3          | 110281                 |
| B5          | 20947                  |
| B8          | 1781                   |
| B12         | 390                    |
| B13         | 33                     |
| B16         | 524                    |
| B19         | 1319                   |
| B22         | 264                    |
| B24         | 104                    |
| B26         | 150                    |
| B35         | 2671                   |
| B39         | 447                    |
| B40         | 111                    |

**7.8. Anexo 8. Tabla de Volúmenes de Inundación para un  $T_r = 10$  Años Con Proyecto**

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N91         | 204                               |
| N92         | 386                               |
| N93         | 359                               |
| N163        | 224                               |
| N164        | 3016                              |
| N165        | 338                               |
| N173        | 7474                              |
| N175        | 392                               |
| N176        | 976                               |
| N177        | 487                               |
| N178        | 116                               |
| N232        | 668                               |
| N233        | 868                               |
| N270        | 1133                              |
| N271        | 997                               |
| N311        | 0                                 |
| N672        | 692                               |
| N673        | 466                               |
| N674        | 57                                |
| N675        | 1533                              |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N676        | 503                               |
| N718        | 1363                              |
| N719        | 1319                              |
| N858        | 1070                              |
| N859        | 5706                              |
| N860        | 1198                              |
| N861        | 3095                              |
| N862        | 3942                              |
| N865        | 1123                              |
| N866        | 6271                              |
| N868        | 1614                              |
| N891        | 2692                              |
| N892        | 133                               |
| N893        | 2600                              |
| N899        | 28                                |
| N902        | 2                                 |
| N903        | 6613                              |
| N904        | 1422                              |
| N905        | 1690                              |
| N907        | 1065                              |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N908        | 5                                 |
| N909        | 16                                |
| N910        | 5                                 |
| N911        | 6948                              |
| N912        | 2230                              |
| N913        | 2072                              |
| N914        | 1662                              |
| N915        | 1754                              |
| N916        | 358                               |
| N948        | 349                               |
| N958        | 8                                 |
| N959        | 2                                 |
| N960        | 27                                |
| N961        | 20                                |
| N970        | 105                               |
| N1098       | 799                               |
| N1225       | 611                               |
| N1259       | 1                                 |
| N1264       | 14                                |
| N1265       | 354                               |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| N1280       | 3                                 |
| N1340       | 0                                 |
| N1341       | 425                               |
| N1407       | 541                               |
| N1408       | 536                               |
| N1409       | 304                               |
| N1410       | 171                               |
| N1411       | 1                                 |
| N1412       | 8                                 |
| N1414       | 1                                 |
| N1437       | 1467                              |
| N1438       | 1372                              |
| N1452       | 994                               |
| N1458       | 14                                |
| N1535       | 2                                 |
| N1610       | 1438                              |
| N1611       | 1139                              |
| N1612       | 1515                              |
| N1613       | 2116                              |
| N1716       | 425                               |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N1751       | 669                    |
| N1752       | 1                      |
| N1753       | 352                    |
| N1759       | 4675                   |
| N1760       | 3769                   |
| N1761       | 331                    |
| N1762       | 2145                   |
| N1764       | 7                      |
| N1765       | 3                      |
| N1770       | 2711                   |
| N1771       | 4512                   |
| N1772       | 4756                   |
| N1773       | 2883                   |
| N1774       | 300                    |
| N1777       | 1557                   |
| N1861       | 324                    |
| N1862       | 2610                   |
| N1863       | 5542                   |
| N1864       | 2948                   |
| N1865       | 12                     |
| N1866       | 92                     |
| N1867       | 2827                   |
| N1878       | 1286                   |
| N1879       | 93                     |
| N2043       | 3192                   |
| N2044       | 1588                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2055       | 1741                   |
| N2056       | 2158                   |
| N2057       | 172                    |
| N2058       | 3886                   |
| N2059       | 3                      |
| N2067       | 8080                   |
| N2070       | 571                    |
| N2071       | 417                    |
| N2074       | 216                    |
| N2075       | 207                    |
| N2076       | 892                    |
| N2077       | 3097                   |
| N2078       | 3510                   |
| N2080       | 137                    |
| N2082       | 540                    |
| N2176       | 1692                   |
| N2181       | 295                    |
| N2182       | 5                      |
| N2184       | 1886                   |
| N2187       | 3084                   |
| N2188       | 957                    |
| N2189       | 6009                   |
| N2193       | 2282                   |
| N2249       | 23                     |
| N2258       | 5                      |
| N2259       | 22                     |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2261       | 61                     |
| N2262       | 144                    |
| N2263       | 1889                   |
| N2264       | 1460                   |
| N2265       | 4036                   |
| N2266       | 1358                   |
| N2267       | 3342                   |
| N2270       | 12851                  |
| N2271       | 1271                   |
| N2383       | 1670                   |
| N2384       | 805                    |
| N2385       | 487                    |
| N2388       | 5526                   |
| N2389       | 7710                   |
| N2390       | 8816                   |
| N2391       | 8077                   |
| N2392       | 5730                   |
| N2393       | 4514                   |
| N2400       | 2                      |
| N2401       | 1138                   |
| N2402       | 1866                   |
| N2403       | 1726                   |
| N2404       | 5                      |
| N2470       | 1                      |
| N2472       | 42                     |
| N2473       | 2688                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N2475       | 396                    |
| N2476       | 1039                   |
| N2477       | 893                    |
| N2492       | 2239                   |
| N2560       | 498                    |
| N2561       | 353                    |
| N2562       | 938                    |
| N2576       | 1597                   |
| N2577       | 4287                   |
| N2653       | 4871                   |
| N2654       | 1053                   |
| N2670       | 1503                   |
| N3496       | 9919                   |
| N3509       | 1419                   |
| N3510       | 1623                   |
| N3511       | 1561                   |
| N4093       | 258                    |
| N4094       | 220                    |
| N4095       | 368                    |
| N4096       | 506                    |
| N4097       | 1044                   |
| N4101       | 1252                   |
| N4137       | 616                    |
| N4140       | 3                      |
| N4148       | 1355                   |
| N4149       | 1984                   |

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------|-----------------------------------|
| B1          | 17595                             |
| B3          | 175233                            |
| B5          | 20947                             |
| B8          | 1781                              |
| B12         | 390                               |
| B13         | 33                                |
| B16         | 524                               |
| B19         | 1319                              |
| B22         | 264                               |
| B24         | 104                               |
| B26         | 150                               |
| B35         | 2671                              |
| B39         | 447                               |
| B40         | 111                               |

**7.9. Anexo 9. Tabla de Volúmenes de Inundación para un  $T_r = 25$  Años Con Proyecto**

| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
|-------------|------------------------|
| N91         | 313                    |
| N92         | 468                    |
| N93         | 428                    |
| N163        | 296                    |
| N164        | 3622                   |
| N165        | 406                    |
| N173        | 9516                   |
| N175        | 643                    |
| N176        | 1227                   |
| N177        | 747                    |
| N178        | 372                    |
| N232        | 1002                   |
| N233        | 1223                   |
| N270        | 1583                   |
| N271        | 1443                   |
| N311        | 0                      |
| N672        | 737                    |
| N673        | 802                    |
| N674        | 36                     |
| N675        | 2197                   |

| N676        | 835                    |
|-------------|------------------------|
| N718        | 1836                   |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
| N719        | 1824                   |
| N858        | 1207                   |
| N859        | 6437                   |
| N860        | 1409                   |
| N861        | 3649                   |
| N862        | 4852                   |
| N865        | 1350                   |
| N866        | 6589                   |
| N868        | 1815                   |
| N891        | 3117                   |
| N892        | 184                    |
| N893        | 2762                   |
| N899        | 404                    |
| N902        | 5                      |
| N903        | 7489                   |
| N904        | 1681                   |
| N905        | 1946                   |
| N907        | 1346                   |

| N908        | 5                      |
|-------------|------------------------|
| N909        | 16                     |
| N910        | 5                      |
| N911        | 7680                   |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
| N912        | 3552                   |
| N913        | 2512                   |
| N914        | 1917                   |
| N915        | 1927                   |
| N916        | 486                    |
| N948        | 793                    |
| N958        | 8                      |
| N959        | 2                      |
| N960        | 27                     |
| N961        | 20                     |
| N970        | 105                    |
| N1098       | 884                    |
| N1225       | 793                    |
| N1259       | 223                    |
| N1260       | 0                      |
| N1264       | 424                    |

| N1265       | 900                    |
|-------------|------------------------|
| N1280       | 103                    |
| N1340       | 76                     |
| N1341       | 734                    |
| N1342       | 0                      |
| N1343       | 0                      |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m³)</b> |
| N1344       | 0                      |
| N1407       | 776                    |
| N1408       | 769                    |
| N1409       | 465                    |
| N1410       | 385                    |
| N1411       | 1                      |
| N1412       | 8                      |
| N1414       | 1                      |
| N1437       | 1774                   |
| N1438       | 1673                   |
| N1452       | 1314                   |
| N1458       | 334                    |
| N1535       | 1                      |
| N1610       | 1693                   |

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| N1611       | 1412                              |
| N1612       | 1743                              |
| N1613       | 2385                              |
| N1716       | 552                               |
| N1751       | 729                               |
| N1752       | 26                                |
| N1753       | 383                               |
| N1759       | 5052                              |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N1760       | 4156                              |
| N1761       | 403                               |
| N1762       | 2458                              |
| N1764       | 7                                 |
| N1765       | 3                                 |
| N1770       | 3049                              |
| N1771       | 5021                              |
| N1772       | 5634                              |
| N1773       | 3368                              |
| N1774       | 976                               |
| N1777       | 1832                              |
| N1861       | 374                               |
| N1862       | 3088                              |
| N1863       | 6434                              |
| N1864       | 3523                              |
| N1865       | 12                                |
| N1866       | 240                               |
| N1867       | 3435                              |

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| N1878       | 1526                              |
| N1879       | 297                               |
| N2043       | 3824                              |
| N2044       | 1801                              |
| N2055       | 2174                              |
| N2056       | 2443                              |
| N2057       | 352                               |
| N2058       | 5494                              |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N2059       | 2                                 |
| N2067       | 9641                              |
| N2070       | 810                               |
| N2071       | 567                               |
| N2074       | 663                               |
| N2075       | 360                               |
| N2076       | 1380                              |
| N2077       | 3518                              |
| N2078       | 3951                              |
| N2080       | 250                               |
| N2081       | 0                                 |
| N2082       | 673                               |
| N2176       | 1957                              |
| N2181       | 335                               |
| N2182       | 2                                 |
| N2184       | 2183                              |
| N2187       | 3783                              |
| N2188       | 1211                              |

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| N2189       | 7547                              |
| N2193       | 2623                              |
| N2249       | 23                                |
| N2250       | 12                                |
| N2258       | 4                                 |
| N2259       | 13                                |
| N2261       | 415                               |
| N2262       | 246                               |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N2263       | 2468                              |
| N2264       | 1924                              |
| N2265       | 4446                              |
| N2266       | 1672                              |
| N2267       | 3769                              |
| N2270       | 15154                             |
| N2271       | 1481                              |
| N2383       | 2178                              |
| N2384       | 1064                              |
| N2385       | 710                               |
| N2388       | 6565                              |
| N2389       | 8715                              |
| N2390       | 9752                              |
| N2391       | 8959                              |
| N2392       | 6765                              |
| N2393       | 5539                              |
| N2400       | 2                                 |
| N2401       | 1387                              |

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| N2402       | 2129                              |
| N2403       | 1998                              |
| N2404       | 5                                 |
| N2470       | 1                                 |
| N2472       | 181                               |
| N2473       | 3038                              |
| N2474       | 167                               |
| N2475       | 538                               |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N2476       | 1159                              |
| N2477       | 1005                              |
| N2492       | 2537                              |
| N2560       | 552                               |
| N2561       | 439                               |
| N2562       | 1130                              |
| N2576       | 1873                              |
| N2577       | 4547                              |
| N2653       | 5692                              |
| N2654       | 1287                              |
| N2670       | 2173                              |
| N3496       | 11787                             |
| N3503       | 318                               |
| N3508       | 185                               |
| N3509       | 1707                              |
| N3510       | 1890                              |
| N3511       | 1824                              |
| N4093       | 472                               |

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| N4094       | 460                               |
| N4095       | 597                               |
| N4096       | 840                               |
| N4097       | 1262                              |
| N4101       | 2056                              |
| N4137       | 738                               |
| N4138       | 0                                 |
| N4139       | 0                                 |
| <b>Nodo</b> | <b>Inundación (m<sup>3</sup>)</b> |
| N4140       | 3                                 |
| N4142       | 41                                |
| N4143       | 1                                 |
| N4144       | 117                               |
| N4145       | 0                                 |
| N4146       | 174                               |
| N4147       | 353                               |
| N4148       | 1842                              |
| N4149       | 2485                              |
| N4160       | 0                                 |
| N4161       | 0                                 |
| N4162       | 200                               |
| B1          | 12756                             |
| B3          | 211840                            |
| B5          | 20947                             |
| B8          | 1781                              |
| B12         | 390                               |
| B13         | 33                                |

|     |      |
|-----|------|
| B16 | 524  |
| B19 | 1319 |
| B22 | 264  |
| B24 | 104  |
| B26 | 150  |
| B35 | 2671 |
| B39 | 447  |
| B40 | 111  |



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Saltos Barzola, Jorge Andrés**, con C.C: # **0931388995** autora del trabajo de titulación: **Análisis hidráulico sobre la implementación de una estructura de regulación del ramal B del estero Salado de Guayaquil para la reducción de los riesgos de inundación en su cuenca de drenaje.** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 11 de marzo de 2022

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Saltos Barzola, Jorge Andrés**

C.C: **0931388995**



| <b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>  |   |                                   |
|--|---|-----------------------------------|
| <b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>  |   |                                   |
| <b>TEMA Y SUBTEMA:</b>   | Análisis hidráulico sobre la implementación de una estructura de regulación del ramal B del estero Salado de Guayaquil para la reducción de los riesgos de inundación en su cuenca de drenaje |                                   |
| <b>AUTOR</b>   | Saltos Barzola Jorge Andrés   |                                   |
| <b>REVISOR/TUTOR</b>   | Ing. Plaza Vera, Javier Fernando PhD.   |                                   |
| <b>INSTITUCIÓN:</b>  | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil   |                                   |
| <b>FACULTAD:</b>   | Facultad de Ingeniería  |                                   |
| <b>CARRERA:</b>  | Ingeniería Civil  |                                   |
| <b>TÍTULO OBTENIDO:</b>  | Ingeniero Civil   |                                   |
| <b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>   | 11 de marzo de 2022   | No. DE PÁGINAS: 119               |
| <b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>  | Hidráulica, Hidrología, Saneamiento, Alcantarillado   |                                   |
| <b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>  | Estero Salado, Ahogamiento, Colectores, Inundación, Alcantarillado, Pluvial, Hidráulica, Tuberías, Modelación.  |                                   |
| <b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>  |   |                                   |
| <p>El presente proyecto tiene como objetivo realizar un análisis acerca del sistema pluvial del ramal B del Estero Salado luego de la instalación de una estructura de regulación, con la finalidad de evitar los eventos de inundaciones en la ciudad que ocurren frecuentemente durante la época invernal. Para la realización se utilizó el programa SWMM (Storm Water Management Model). Teniendo como base el Plan Maestro de Interagua. La modelación consistió en esquematizar el sistema actual con sus debidas condiciones y calcular los volúmenes de inundación con los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años; posteriormente, se realizó la simulación con la estructura implementada y conseguir los volúmenes de inundación bajo esta condición, en la cual se tuvo como resultado que los mismos serían menores gracias a la estructura implementada. Finalmente, se tiene que colectores ante periodos de lluvias de dos horas, su funcionamiento es ahogado llegando a un volumen de inundación de 72208.56 m<sup>3</sup> bajo las condiciones actuales, mientras que, al instalar las válvulas Pinch controla el ingreso del agua por efecto de la marea evitando que estos colectores no funcionen de manera ahogada y que el volumen de inundación disminuya a 55538.56 m<sup>3</sup>, siendo este un 23% menor al volumen actual.</p> |   |                                   |
| <b>ADJUNTO PDF:</b>  | <input checked="" type="checkbox"/> SI  | <input type="checkbox"/> NO       |
| <b>CONTACTO CON AUTOR:</b>   | <b>Teléfono:</b><br>+593-99-516-3973  | <b>E-mail:</b> jasb9889@gmail.com |
| <b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>  | <b>Nombre:</b> Clara Catalina, Glas Cevallos  |                                   |
|  | <b>Teléfono:</b> +593-4-2202763   |                                   |
|  | <b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec  |                                   |
| <b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>  |   |                                   |
| <b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>  |   |                                   |
| <b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>   |   |                                   |
| <b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>  |   |                                   |