

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CULIACÁN**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN**  
**INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**



**“SISTEMA DE CAPTACIÓN, ALMACENAMIENTO Y REGULACIÓN  
DE AGUA DE LLUVIA PARA PARQUE ECOLÓGICO DE LA  
CIUDAD DE CULIACÁN, SINALOA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**PRESENTA:  
GENARO BUENO LEÓN**

**DIRECTOR DE TESIS  
MCI SERGIO ARTURO RENTERÍA GUEVARA**

Culiacán de Rosales, Sinaloa, a 9 de noviembre de 2018



## UAS- Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

## Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| Índice de figuras .....   | 5         |
| Índice de fórmulas .....  | 6         |
| Índice de tablas .....  | 7         |
| <b>1 Introducción .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1.1 Presentación .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1.2 Análisis situacional .....</b>                                       | <b>10</b> |
| 1.2.1 Análisis del entorno .....  | 10        |
| 1.2.2 Análisis particular .....   | 11        |
| <b>1.3 Definición del problema seleccionado .....</b>                       | <b>12</b> |
| <b>2 Fundamentos teóricos .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2.1 Marco histórico y contextual .....</b>                               | <b>14</b> |
| <b>2.2 Estado del arte .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2.3 Marco teórico .....</b>  | <b>17</b> |
| 2.3.1 El agua y los ecosistemas .....                                       | 17        |
| 2.3.2 Problemática urbana .....   | 18        |
| 2.3.2.1 Infraestructura verde .....   | 19        |
| 2.3.3 Sistemas de aprovechamiento de agua pluvial .....                     | 19        |
| 2.3.4 Componentes de un sistema de aprovechamiento de agua pluvial.....     | 20        |
| 2.3.4.1 Área de captación .....   | 20        |
| 2.3.4.2 Conducción.....   | 20        |
| 2.3.4.3 Almacenamiento .....  | 20        |
| 2.3.4.4 Distribución .....  | 21        |
| 2.3.5 Conceptos relacionados con el aprovechamiento de agua de lluvia ..... | 21        |
| 2.3.6 Estimación de crecientes de diseño .....                              | 22        |
| 2.3.7 Dimensionamiento de estanque.....                                     | 23        |
| 2.3.7.1 Almacenamiento .....  | 23        |
| <b>2.4 Marco legal.....</b>   | <b>25</b> |
| 2.4.1 Legislación sobre el agua en México.....                              | 25        |
| 2.4.2 Autoridades encargadas del agua en México.....                        | 26        |
| 2.4.3 Programas en materia de agua en México .....                          | 27        |
| <b>3 Proyecto de intervención.....</b>                                      | <b>29</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1 Objetivo general.....</b>                          | <b>29</b> |
| <b>3.2 Objetivos específicos.....</b>                     | <b>29</b> |
| <b>3.3 Justificación.....</b>                             | <b>29</b> |
| <b>3.4 Metodología.....</b>                               | <b>30</b> |
| <b>Introducción.....</b>                                  | <b>30</b> |
| <b>3.4.1 Factibilidad .....</b>                           | <b>30</b> |
| <b>3.4.2 Recopilación de información .....</b>            | <b>31</b> |
| <b>3.4.2.1 Información topográfica .....</b>              | <b>31</b> |
| <b>3.4.2.2 Registros de precipitaciones .....</b>         | <b>31</b> |
| <b>3.4.2.3 Visita de campo.....</b>                       | <b>31</b> |
| <b>3.4.2.4 Suelo.....</b>                                 | <b>32</b> |
| <b>3.4.3 Variables de ingeniería básica.....</b>          | <b>32</b> |
| <b>3.4.3.1 Clasificación de la cuenca .....</b>           | <b>32</b> |
| <b>3.4.3.2 Caracterización de la cuenca .....</b>         | <b>32</b> |
| <b>3.4.3.3 Coeficiente de escurrimiento .....</b>         | <b>33</b> |
| <b>3.4.3.4 Tiempo de concentración .....</b>              | <b>35</b> |
| <b>3.4.3.5 Periodo de retorno.....</b>                    | <b>37</b> |
| <b>3.4.3.6 Infiltración.....</b>                          | <b>38</b> |
| <b>3.4.4 Estudios de ingeniería básica .....</b>          | <b>38</b> |
| <b>3.4.4.1 Curvas IDTr.....</b>                           | <b>38</b> |
| <b>3.4.4.2 Estimación de gastos de diseño.....</b>        | <b>39</b> |
| <b>3.4.4.3 Cálculo de volumen del estanque .....</b>      | <b>39</b> |
| <b>A) Almacenamiento .....</b>                            | <b>39</b> |
| <b>B) Regulación .....</b>                                | <b>42</b> |
| <b>3.4.5 Estudios de ingeniería de detalle.....</b>       | <b>45</b> |
| <b>3.4.5.1 Dimensiones del estanque .....</b>             | <b>45</b> |
| <b>3.4.5.2 Estructura de entrada .....</b>                | <b>45</b> |
| <b>3.4.5.2 Descarga de regulación .....</b>               | <b>47</b> |
| <b>3.4.5.3 Vertedor.....</b>                              | <b>48</b> |
| <b>3.5 Análisis de resultados .....</b>                   | <b>49</b> |
| <b>3.5.1 Factibilidad .....</b>                           | <b>49</b> |
| <b>3.5.2 Recopilación y análisis de información .....</b> | <b>49</b> |

|   |     |
|---|-----|
| 3.5.2.1 Topográfica .....   | 49  |
| 3.5.2.2 Arquitectónica.....   | 49  |
| 3.5.2.3 Precipitaciones .....                                       | 50  |
| 3.5.2.4 Suelos .....  | 53  |
| 3.5.3 Variables de ingeniería básica.....                           | 54  |
| 3.5.3.1 Análisis de características de la cuenca .....              | 54  |
| 3.5.3.2 Coeficiente de escurrimiento .....                          | 57  |
| 3.5.3.3 Tiempo de concentración .....                               | 59  |
| 3.5.3.4 Periodo de retorno .....                                    | 60  |
| 3.5.4 Hidrología (Estudios de ingeniería básica) .....              | 61  |
| 3.5.4.1 Pruebas de homogeneidad de datos .....                      | 61  |
| 3.5.4.2 Ajuste de funciones de probabilidad.....                    | 67  |
| A) Estación de CONAGUA.....   | 68  |
| B) Estación de la Universidad Autónoma de Sinaloa.....              | 71  |
| 3.5.4.3 Ecuación de F. C. Bell .....                                | 74  |
| 3.5.4.4 Curvas intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-Tr)..... | 76  |
| 3.5.4.5 Intensidad de lluvias de diseño .....                       | 78  |
| 3.5.4.6 Gastos de diseño.....                                       | 79  |
| 3.5.5 Dimensionamiento de estructuras.....                          | 80  |
| 3.5.5.1 Almacenamiento .....  | 80  |
| A) Justificación de capacidad de almacenamiento .....               | 80  |
| B) Simulación de vasos de almacenamiento .....                      | 83  |
| 3.5.5.2 Regulación .....  | 86  |
| 3.5.6 Diseño hidráulico.....  | 89  |
| 3.5.6.1 Captación.....  | 89  |
| 3.5.6.2 Descarga de regulación .....                                | 99  |
| 3.5.6.3 Obras de descarga .....                                     | 111 |
| 4 Estrategias de implementación.....                                | 120 |
| 4.1 Plan de acción .....  | 120 |
| 4.1.1 Campaña de socialización.....                                 | 120 |
| 4.1.2 Gestión de recursos .....                                     | 120 |
| 4.1.3 Trabajos preliminares .....                                   | 120 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.4 Proyecto.....   | 121 |
| 4.1.4.1 Consideraciones generales .....   | 121 |
| 4.1.4.2 Planos.....   | 122 |
| 4.2 Estrategias usadas para presentar y persuadir a los involucrados en el proyecto | 133 |
| 4.2.1 Análisis costo-beneficio del proyecto.....                                    | 134 |
| 5 Administración del proyecto .....   | 137 |
| 5.1 Calendario de trabajo .....   | 137 |
| 5.1.1 Catálogo de conceptos.....  | 138 |
| 5.1.1 Presupuesto.....  | 146 |
| 6 Conclusiones y recomendaciones .....  | 149 |
| 6.1 Conclusiones.....   | 149 |
| 6.2 Recomendaciones.....  | 150 |
| Anexo A .....   | 151 |
| Anexo B.....  | 160 |
| Estación de CONAGUA.....  | 160 |
| Estación de la Universidad Autónoma de Sinaloa.....                                 | 180 |
| Referencias.....  | 191 |

## Indice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Producción de agua anual en m <sup>3</sup> .....                                   | 11 |
| Figura 2. Distribución temporal de la precipitación y temperatura en Culiacán, Sinaloa ..... | 13 |
| Figura 3. Afectaciones en calles .....   | 14 |
| Figura 4. Solución de las ecuaciones de escorrentía SCS. ....                                | 41 |
| Figura 5. Factor de ajuste k .....   | 43 |
| Figura 6. Volumen requerido de regulación.....   | 44 |
| Figura 7. Principio de decantador.....   | 45 |
| Figura 8. Decantador .....   | 46 |
| Figura 9. Velocidades de decantación .....   | 47 |
| Figura 10. Descarga de regulación .....  | 48 |
| Figura 11. Estratos de suelo en parque ecológico .....                                       | 54 |
| Figura 12. Escurrimientos prolongados.....   | 54 |
| Figura 13. Límites de cuenca.....  | 55 |
| Figura 14. Cauces propuestos.....  | 55 |
| Figura 15. Nuevos cauces.....  | 56 |
| Figura 16. Test de Helmert.....  | 64 |
| Figura 17. Test de Helmert.....  | 67 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 18. Software especializado en hidrología estadística HidroEsta.....            | 68  |
| Figura 19. Comparativo de ajustes de probabilidad CONAGUA .....                       | 70  |
| Figura 20. Comportamiento de funciones respecto a los datos CONAGUA .....             | 71  |
| Figura 21. Comparativo de ajuste de funciones BIOLOGÍA .....                          | 72  |
| Figura 22. Comportamiento de funciones respecto a datos BIOLOGÍA .....                | 73  |
| Figura 23. Relación empírica B. M. Reich .....  | 75  |
| Figura 24. Curvas IDF .....   | 77  |
| Figura 25. Comportamiento de humedad durante los meses más húmedos. ....              | 82  |
| Figura 26. Comportamiento de laguna 2 .....   | 86  |
| Figura 27. Regulación laguna 1 .....  | 88  |
| Figura 28. Regulación laguna 2 .....  | 89  |
| Figura 29. Reporte de diseño de canales de laguna 1 .....                             | 92  |
| Figura 30. Reporte de cálculo de canales de laguna 2.....                             | 95  |
| Figura 32. Reporte de cálculo de canales de subcuenca 3.....                          | 98  |
| Figura 33. Vertedor de emergencias y regulación simultáneos, laguna 1 .....           | 101 |
| Figura 34. Tránsito de avenida máxima, laguna 1 .....                                 | 102 |
| Figura 35. Diseño de descarga de regulación, laguna 1 .....                           | 103 |
| Figura 36. Tránsito de avenida máxima con volumen disponible, laguna 1 .....          | 105 |
| Figura 37. Vertedor de emergencias y regulación simultáneos, laguna 2 .....           | 107 |
| Figura 38. Tránsito de avenida máxima con ambos vertedores funcionando, laguna 2..... | 108 |
| Figura 39. Diseño de descarga de regulación, laguna 2 .....                           | 109 |
| Figura 40. Tránsito de avenida máxima con volumen disponible, laguna 2 .....          | 110 |
| Figura 41. Tránsito de avenida sin considerar descarga de regulación, laguna 1.....   | 112 |
| Figura 42. Diseño de canal de emergencias, laguna 1 .....                             | 113 |
| Figura 43. Tránsito de avenida sin considerar regulación, laguna 2 .....              | 114 |
| Figura 44. Diseño de descarga de emergencias, laguna 2 .....                          | 115 |
| Figura 45. Tránsito de descarga de laguna 2 en laguna 3.....                          | 117 |
| Figura 46. Diseño de descargas en laguna 3.....                                       | 117 |
| Figura 47. Perfil de cimacio tipo Creager.....  | 119 |
| Figura 48. Arquitectónico laguna 1 .....  | 122 |
| Figura 49. Arquitectónico laguna 2 y 3 .....  | 123 |
| Figura 50. Vista de estructuras .....   | 125 |
| Figura 51. Plantas y cortes de estructuras.....                                       | 130 |
| Figura 52. Detalles constructivos tipo .....  | 133 |
| Figura 53. Valor futuro acumulado de costos y beneficios. ....                        | 136 |

## Índice de fórmulas

|  |    |
|--|----|
| Fórmula 1. Fórmula racional .....  | 22 |
| Fórmula 2. Fórmula racional SI.....                                      | 22 |
| Fórmula 3. Coeficiente de escurrimiento - áreas compuestas .....         | 23 |
| Fórmula 4. Volumen útil - algoritmo de pico secuente .....               | 23 |
| Fórmula 5. Fórmula de Taylor-Schwarzsm - Pendiente media de cauces ..... | 33 |

|  |    |
|--|----|
| Fórmula 6. Coeficiente de escurrimiento - áreas compuestas .....                                   | 35 |
| Fórmula 7. Tiempo de concentración - fórmula de Kerby- Hathaway.....                               | 35 |
| Fórmula 8. tiempo de concentración- Agencia Federal de Aviación .....                              | 36 |
| Fórmula 9. Tiempo de concentración-Fórmula del Soil Conservation Service. ....                     | 36 |
| Fórmula 10. Fórmula de Kirprich.....   | 37 |
| Fórmula 11. ecuación general de F. C. Bell .....   | 38 |
| Fórmula 12. método del algoritmo del pico secuente.....  | 40 |
| Fórmula 13. Volumen entrante.....  | 42 |
| Fórmula 14. Volumen saliente.....  | 43 |
| Fórmula 15. Factor de jauste k .....   | 43 |
| Fórmula 16. fórmula de Francis .....   | 48 |
| Fórmula 17. fórmula de Francis .....   | 49 |
| Fórmula 18. fórmula de Francis .....   | 49 |
| Fórmula 19. Velocidad de descarga .....  | 49 |
| Fórmula 20. Test de Mann-Kendall.....  | 61 |
| Fórmula 21. Test de Helmert.....   | 62 |
| Fórmula 22. Factor de duración.....  | 74 |
| Fórmula 23.ecuación de F. C. Bell para los registros de la estación climatológica de CONAGUA ..... | 76 |

## Indice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. algoritmo de pico secuente .....   | 23 |
| Tabla 2. Coeficientes de escurrimiento para la aplicación del método racional .....                                     | 34 |
| Tabla 3. Coeficiente de escurrimiento para la aplicación del método racional .....                                      | 34 |
| Tabla 4. Factor de resistencia al flujo sobre el terreno .....  | 36 |
| Tabla 5. N de escurrimiento en áreas urbanas .....  | 37 |
| Tabla 6. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.....   | 41 |
| Tabla 7. Ejemplo de regulación.....   | 44 |
| Tabla 8. Registros de lluvias máximas en 24 h en la estación Culiacán, Ubicada a un costado en la presa derivadora..... | 52 |
| Tabla 9. Estación de Escuela de Biología.....   | 53 |
| Tabla 10 Subcuencas .....   | 56 |
| Tabla 11. Cálculos para determinar los coeficientes de escurrimiento de cada una de las sub-cuencas.....                | 58 |
| Tabla 12. Coeficientes calculados en estas tablas corresponden a periodos de retorno menor o igual a 10 años .....      | 58 |
| Tabla 13. Coeficientes calculados en estas tablas corresponden a periodos de retorno mayor o igual a 10 años .....      | 59 |
| Tabla 14. Cálculo de tiempos de concentración con las tres fórmulas recomendadas por la bibliografía .....              | 59 |
| Tabla 15. Cálculos para los tiempos de concentración sobre canales naturales.....                                       | 60 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 16. Resumen de tiempos de concentración.....  | 60  |
| Tabla 17. Test de Mann-Kendall .....  | 63  |
| Tabla 18. Test de Helmer .....  | 64  |
| Tabla 19. Bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov .....   | 68  |
| Tabla 20. Funciones de distribución y de altura de precipitación-periodo de retorno para las funciones con menor delta teórico..... | 69  |
| Tabla 21. Bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov .....   | 71  |
| Tabla 22. Precipitaciones máximas en 24 horas.....  | 73  |
| Tabla 23. Intensidad-duración-periodos de retorno (i-d-Tr) .....  | 77  |
| Tabla 24. Intensidades para duraciones de proyecto .....  | 78  |
| Tabla 25. Gastos de diseño .....  | 80  |
| Tabla 26. Capacidad de almacenamiento de lagos .....  | 81  |
| Tabla 27. Análisis de CHA para meses húmedos.....   | 82  |
| Tabla 28. Cálculo de condiciones de almacenamiento de laguna (caso laguna 2).....   | 85  |
| Tabla 29. Cálculo de condiciones de almacenamiento de laguna (caso laguna 3).....   | 86  |
| Tabla 30. Calculo hidrológico de regulación. ....   | 88  |
| Tabla 31. Decantador laguna 1 .....   | 93  |
| Tabla 32. Decantador laguna 2 .....   | 96  |
| Tabla 33. Decantador 2, laguna 2 .....  | 99  |
| Tabla 34. Vertedor de entrada, laguna 2.....  | 99  |
| Tabla 35. Cálculo de $d_v$ para cualquier $d_h$ , laguna 1 .....  | 100 |
| Tabla 36. Vertedor de regulación, laguna 1.....   | 100 |
| Tabla 37. Cálculo de $d_v$ para cualquier $d_h$ , laguna 2 .....  | 105 |
| Tabla 38. Vertedor de regulación, laguna 2.....   | 106 |
| Tabla 39. Vertedor de descarga, laguna 1 .....  | 112 |
| Tabla 40. Resumen de estructuras calculadas. ....   | 118 |
| Tabla 41. Análisis financiero del proyecto (beneficio/costo).....   | 135 |

## **1 Introducción**

### **1.1 Presentación**

El presente proyecto de intervención consiste en el diseño de un sistema de captación, almacenamiento y regulación de agua de lluvia para el Parque Ecológico de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, con el fin de aprovecharla para fines recreativos, riego del mismo parque, así como para contribuir en la mitigación de inundaciones y de la contaminación de fuentes superficiales de agua, como ríos, lagos, entre otras, ambas provocadas por el efecto de la urbanización.

El sistema consiste en tres estanques, uno que almacena y regula los caudales de una parte de la cuenca (sub-cuenca 1), de aproximadamente 3.7 has en la parte norte de la misma, y dos ubicados en la zona sur, que regulan y almacenan los caudales de una superficie de 20.4 has. Ya que se trata de una cuenca relativamente plana y cuenta con varios cauces naturales de dimensiones similares y sin un punto bien definido de confluencia, estos son interceptados por el estanque de almacenamiento en puntos diferentes, debido a que la superficie del estanque es grande respecto a la cuenca principal. Cuando se dice que almacena y regula, se refiere a que no es posible almacenar toda el agua que capta la cuenca, así que los escurrimientos excedentes son descargados de manera controlada, hacia aguas abajo.

Para este proyecto se obtuvieron datos de precipitaciones para un periodo representativo mayor a 20 años, como lo recomienda la bibliografía, con el fin de obtener resultados más confiables.

Se hace una evaluación de los volúmenes mensuales disponibles de agua, aportado por las precipitaciones, con la aplicación del método de abstracciones del Soil Conservation Service. Se calculan las avenidas máximas para diseñar los canales de conducción, y otras estructuras del sistema, para lo cual, es necesario estimar un coeficiente de escurrimiento para cada cuenca o sub-cuenca, y sus tiempos de concentración correspondientes, finalmente se hace una revisión de la superficie disponible para almacenar el agua. Todo esto para tomar la mejor decisión sobre el volumen óptimo a almacenar, entendiendo como volumen óptimo aquel que satisfaga en orden de importancia los fines mencionados en el primer párrafo y que la función de regulación también contribuye a reducir la contaminación, ya que reduce los escurrimientos y, en consecuencia, los arrastres de contaminantes hacia fuentes naturales de agua.

Se determinan las dimensiones de la cuenca, las características de las sub-cuencas y de los cauces principales con el apoyo de un levantamiento topográfico con curvas de nivel, se revisan condiciones de cobertura superficial y de cauces utilizados actualmente para conducir el agua sobre la cuenca. Con las características de la cuenca, subcuencas, cauces principales, y con la ayuda del método racional, se determinan las avenidas máximas para el diseño de las estructuras de entrada, de regulación y de excedencias del sistema, además se hace un tránsito de avenida en los estanques para considerar los resultados también en el diseño de vertedores de emergencia.

Para la determinación del volumen útil, o volumen de almacenamiento se prueba el *método del algoritmo del pico secuente*, ya que es el más adecuado cuando se tiene una demanda variable, sin embargo, al aplicar el método se encuentra la restricción de que no se tiene la capacidad de espacio para almacenar toda el agua necesaria para satisfacer las demandas, ni la que capta la cuenca. Después de hacer el análisis anterior se cambia la estrategia de cálculo de los volúmenes a almacenar, utilizando criterios de acuerdo a las necesidades y restricciones del parque. Con todo este análisis, finalmente las dimensiones de los estanques de almacenamiento, terminaron siendo una restricción muy importante, por lo que para el diseño final de revisaron, además del volumen calculado, algunos parámetros importantes como:

- Superficie disponible para el estanque de almacenamiento, de acuerdo al proyecto arquitectónico del parque y uso final que tendrá el estanque con respecto a paisaje y esparcimiento.
- Demanda de agua que tendrá que satisfacer el estanque, que se derivará de; demanda de riego y volumen regulador necesario.

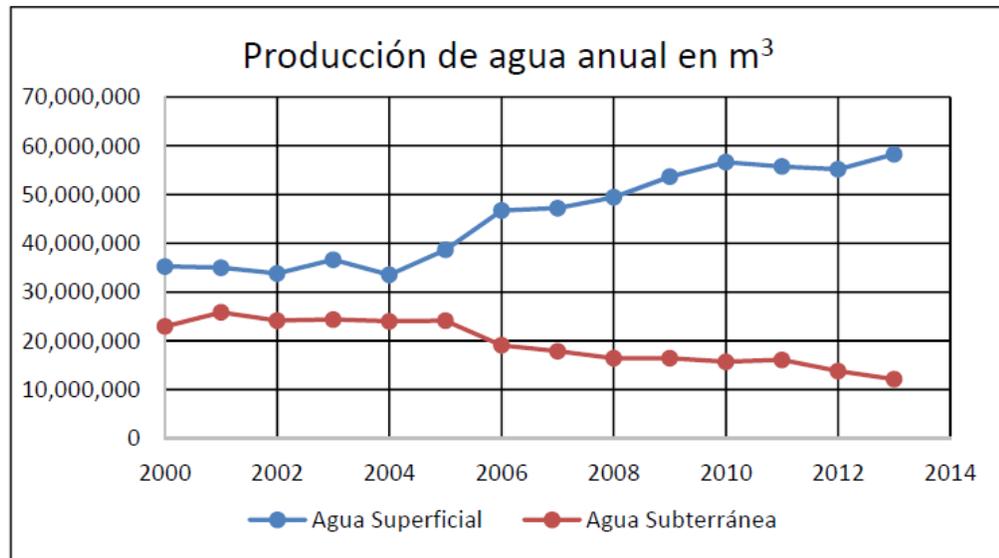
Los resultados obtenidos, incluyendo un presupuesto base para su posible implementación, se presentarán a Sociedad Botánica y Zoológica de Sinaloa, cuya misión y visión aloja muy claramente este proyecto, haciendo mención de “manejo sustentable de recursos naturales”, “creación de espacios verdes”, y “educación ambiental”.

## **1.2 Análisis situacional**

### **1.2.1 Análisis del entorno**

Estudios realizados por CONAGUA y publicados en el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía 2014 para la ciudad de Culiacán Sinaloa, nos muestra un panorama general de la situación actual y la tendencia de la disponibilidad del agua, donde se establece que el 78% del agua que se consume proviene de fuentes superficiales y el resto de la producción se obtiene de pozos. Este documento también muestra como la disponibilidad de agua en los pozos está disminuyendo por diversas razones; cuyo análisis está fuera del alcance de este proyecto, sin embargo, es evidente que cada día estamos dependiendo de una manera progresiva de las fuentes superficiales.

Figura 1. Producción de agua anual en m<sup>3</sup>



*Elaboración propia con datos de JAPAC.*

Esta tendencia a satisfacer la necesidad de consumo de agua de fuentes superficiales, obliga a tomar medidas de mitigación y reducción de la contaminación de dichas fuentes de agua. A pesar de esto, en la ciudad de Culiacán Sinaloa, no se tienen espacios con infraestructura que hagan uso sustentable del agua de lluvia, y en consecuencia, que lo promuevan.

### **1.2.2 Análisis particular**

El Parque Ecológico ubicado en la ciudad de Culiacán Sinaloa, es un área verde muy importante para la ciudad, principalmente por sus dimensiones relativamente grandes (comprende una superficie aproximada de 20 has). En base a lo anterior, podemos esperar que el agua captada en este espacio, sea de buena calidad para su utilización en actividades como riego y esparcimiento, y represente volumen importante como para ser captado y almacenado, evitando que escurra a zonas urbanas exponiéndose y arrastrando contaminantes hacia otras fuentes de agua superficiales como son los ríos, entre otros.

Actualmente se está desarrollando un plan maestro del parque donde se está considerando un cuerpo de agua dentro del proyecto, sin embargo, es solo con fines estéticos y de esparcimiento. Por otro lado, se tiene la necesidad de riego durante la temporada de sequía, sin embargo, en algunas zonas del parque se cuenta con canales revestidos que conducen el agua de manera eficiente y rápida al exterior, evitando que se aproveche esta como fuente de riego para el parque, y promoviendo grandes escurrimientos que contribuyen en inundaciones de zonas bajas. En otras áreas sucede lo contrario, el agua se almacena en las terrazas que son parte del riego existente, lo que ocasiona deterioro de los pavimentos por los

escurrimientos que se dan durante largos periodos hacia la calle. En las partes bajas, donde se ubican las descargas de los caudales captados por la cuenca, se tienen dos zonas conflictivas que reciben dichas descargas, y es aquí donde pretende contribuir en parte, el proyecto de intervención.

De manera más concreta podemos mencionar algunas situaciones que suceden como consecuencia de las condiciones existentes:

-No se aprovecha el agua de lluvia captada por el parque ecológico.

-El agua captada por el parque, no se contamina dentro de ella, ya que el espacio se está limpiando constantemente, sin embargo, al salir a la calle se expone a contaminantes que también son arrastrados a los cauces naturales, que también terminan contaminados.

-No se tiene otra alternativa de riego para la temporada de sequía en caso de que se tengan problemas con la fuente actual.

-El agua que sale del parque ocasiona problemas sociales en las áreas vecinas, principalmente inundaciones y escurrimientos por largos periodos, posteriores al final de cada tormenta que dan lugar a la formación de baches u oquedades superficiales en el pavimento que representan un riesgo para el tránsito vehicular.

-El parque no está dando un mensaje ecológico respecto a la gestión sostenible del agua de lluvia.

### **1.3 Definición del problema seleccionado**

Sabemos que los seres vivos están más adaptados a sobrevivir con escasez de alimentos que con falta de agua. Por otro lado, la velocidad con que se puede pasar de una situación de disponibilidad plena hacia una situación de escasez de agua, es mayor que en el caso de los nutrientes esenciales. Por ejemplo, un suelo no pasa de rico en nutrientes a una condición de deficiente en pocos días, pero la disponibilidad de agua sí. Esta característica dinámica de la disponibilidad hídrica es todavía más importante en la medida que las condiciones climáticas, principalmente las precipitación, son inciertas[1].

El suministro de agua en las ciudades es el mayor reto en términos de calidad y cantidad, y debe ser accesible sin comprometer la sustentabilidad. Sin embargo el crecimiento urbano fomenta la cobertura artificial de la superficie e impide la filtración del agua de lluvia al subsuelo[2], esto es causa de escorrentías superficiales que se contaminan al entrar en contacto con basura, derrames de productos químicos, entre otros. Además, esto ocasiona muchos problemas de operación y mantenimiento en los sistemas de drenaje pluvial, haciéndolos insuficientes provocando inundaciones.

En el parque ecológico de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, el agua de lluvia se deja salir a la calle sin control, exponiéndose a agentes contaminantes que finalmente son arrastrados a las fuentes superficiales, por otro lado, también se contribuye en inundaciones debido a la

saturación de drenajes pluviales, además no se está aprovechando el agua para beneficio de las plantas dentro del parque.

De acuerdo a registros de CONAGUA en Culiacán Sinaloa se tiene una precipitación anual normal de 666.1mm, para el periodo 1981-2010 y sabiendo que la superficie drenada por la cuenca que incluye el parque ecológico es aproximadamente de 247,900 m<sup>2</sup>, estimando el coeficiente de escurrimiento de .67 de acuerdo a la norma NOM-011-CNA-2015 (Diario Oficial de la Federación, 27 de marzo del 2015) que considera el tipo de suelo, cobertura y precipitación, anualmente en la cuenca que incluye el Parque Ecológico se está captando un volumen aproximado de 110,634 m<sup>3</sup> de agua de lluvia.

Según aforos realizados por la institución sobre el gasto del sistema de bombeo que se utiliza para regar el Jardín botánico y el Parque Ecológico (de los cuales actualmente no se cuenta con registro de los cálculos), se tiene un gasto bombeado de 53 l/s. Sabiendo que se riega con este sistema de bombeo aproximadamente durante 7 meses, (ver figura 2), 5 Horas/día (El resto del jornal se riega el Jardín Botánico), y 6 días/semana, aproximadamente tenemos un consumo de agua por este recurso de 171,720 m<sup>3</sup> por periodo de sequía. Cabe mencionar que el volumen que se utiliza actualmente para riego, no es la necesidad real de riego del parque, ya que este consumo depende de las prácticas actuales de riego.

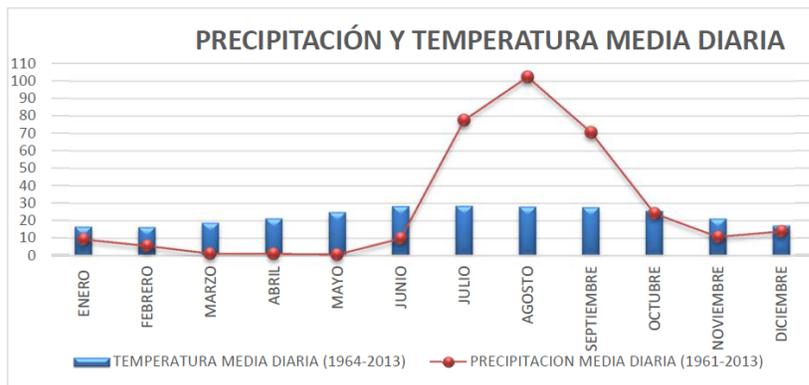


Figura 2. Distribución temporal de la precipitación y temperatura en Culiacán, Sinaloa

El volumen captado por la cuenca representa aproximadamente el 64.4% del consumo actual, lo que se puede interpretar como una posible reducción en el bombeo actual para satisfacer la necesidad de riego y del consumo de electricidad correspondiente que en el año 2016 generó un costo anual, según los registros de pago de la administración de \$106,999 y para julio de 2017 se ha pagado por este concepto la cantidad de \$116,039. Si a esto le sumamos el costo directo de operación de 5 horas diarias de un peón= (6/8)\*\$4800 =\$3600 mensual, \$5000 de mantenimiento de equipos, \$15000 anual de limpieza de cárcamo: esto da un total de costo directo de bombeo anual de:

$$(116,039/8)*12*(5/7)+3600*10+5000+15000=\$180,327.5 \text{ anual}$$

$$\$180,327.5/171720\text{m}^3=\$1.05/\text{m}^3$$

En resumen, el problema a solucionar consiste en que en el Parque Ecológico de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, el agua de lluvia que cae no se aprovecha para regar sus áreas verdes, es un agua limpia que se sale a la calle a exponerse a contaminantes, los escurrimientos generados inundan zonas vecinas y se prolongan por largos periodos posteriores a las lluvias, lo que ocasiona el deterioro de los pavimentos por exceso de humedad junto con el tránsito vehicular, ver figura 4. No se tiene otra alternativa de riego para el parque, además, el Parque Ecológico no está dando un mensaje ecológico respecto a la gestión sostenible del agua de lluvia.



Figura 3. Afectaciones en calles

## 2 Fundamentos teóricos

### 2.1 Marco histórico y contextual

El agua históricamente ha sido la base de asentamientos humanos, así como también del desarrollo económico mediante actividades como agricultura, ganadería.

A medida que estos asentamientos fueron creciendo, sus prácticas para subsistir también fueron cambiando y por supuesto, la obtención del agua evolucionó desde aquellas antiguas practicas donde se tomaba el agua directamente de las fuentes naturales hasta las más sofisticadas que hoy conocemos, “que permiten captarla y conducirla desde fuentes muy

lejanas hasta las viviendas, pasando por su empleo como fuerza motriz y otros muchos y variados aprovechamientos”[3].

A continuación se mencionan algunas de las obras hidráulicas que existieron en la antigua Mesoamérica (superarea cultural que en el siglo XVI abarcaba el centro y el sur de México y gran parte de Centroamérica).

La recolección y el almacenamiento de agua pluvial fueron prácticas comunes en Mesoamérica desde tiempos muy antiguos, fuera en recipientes en depósitos subterráneos, o a cielo abierto. El agua se captaba mediante canales en jagüeyes o en recipientes de barro enterrados recubiertos con piedra o no y estuco[3].

Los jagüeyes son estanques a cielo abierto que captan el agua de lluvia interceptando escorrentías, la lluvia directamente o agua captada por superficies impermeables como los techos de las casas.

Un ejemplo de depósito pluvial prehispánico recientemente identificado por el arqueólogo Lorenzo Ochoa, se trata de al menos 3 grandes depósitos situados en la antigua población-mercado de Tzicoac-Cacahuatenco (Veracruz), que proveían de agua a sus pobladores durante todo el año. También hubo asentamientos que se surtían de fuentes permanentes donde se construyeron acueductos que servían para atravesar barrancas y para llevar agua a los cultivos desde pequeñas presas derivadoras que almacenaban agua para la temporada de sequía[3].

Otras de las obras hidráulicas para el aprovechamiento del agua son pozos profundos de hasta 10m de profundidad conocidos como “norias” en algunas partes de la región de Sinaloa, con ellos se interceptan corrientes subterráneas donde se obtiene agua para uso potable y no potable.

Siglos después el uso de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias decreció debido a la imposición de métodos y obras para la utilización del agua superficial y subterránea (presas, acueductos, pozos de extracción y sistemas de irrigación). Esto sucedió en varias partes del mundo con la colonización e introducción de nuevas tecnologías como la llegada de los españoles a México, lo mismo ocurrió en la india con la colonización inglesa que obligó a los nativos a abandonar los métodos tradicionales de aprovechamiento del agua[4]. A comienzos del siglo XXI la situación es diferente, en muchas regiones semiáridas del mundo se establecieron poblaciones que se desarrollaron de manera vertiginosa, ejerciendo presión sobre las fuentes finitas de agua.

Actualmente sólo cuando no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo muy alto, se piensa en buscar sistemas alternativos de abastecimiento, por ello la documentación sobre sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, se limita a las acciones realizadas en las últimas décadas en zonas del planeta con problemas de sequía[4].

## 2.2 Estado del arte

Según Daniel Castro, Sara Perales y Helena Ramos, [Castro-Fresno. 2013], [Perales. 2008] y [Ramos, 2013], los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles son elementos integrantes de la infraestructura urbano-hidrólogo-paisajística, destinados a filtrar, retener, infiltrar, transportar y almacenar agua de lluvia, sin que la misma se contamine e incluso eliminando parte de la carga contaminante que puedan contener. Son sistemas que se vienen aplicando con éxito en países como Reino Unido, EE.UU, Japón, Australia, Alemania, Francia y Holanda, entre otros. Estos sistemas cumplen con los objetivos de las políticas del agua en España y Europa[5].

El estudio de las diferentes técnicas de drenaje urbano sostenibles se inició en la década de 1970 en los EEUU con el nombre de BMPs y después, a finales de 1980, en Europa, donde se extendió más por los países del centro y del norte que en los países del sur, aún hoy, países como España, Italia, Grecia o Portugal cuentan con escasas experiencias. Fue en Reino Unido donde se acuñó el nombre de SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible). No fue hasta 1993 cuando fueron estudiados por primera vez en España por el grupo de investigación GITECO de la Universidad de Cantabria(Antonio Jesús Fuentes Roldán)[5].

Los estanques de detención son utilizados para mitigar los efectos del incremento en los gastos máximos causados por el desarrollo urbano. Existen diversos tipos los cuales incluyen: estanques secos y con almacenamiento, superficiales y subterráneos, ubicados sobre la corriente y laterales, locales y regionales y por último, en serie e interconectados[6].

En general, los estanques de detención tienen un efecto de atenuación del hidrograma de entradas, lo cual significa que el gasto pico es reducido y retrasado. El plan común de diseño y operación de un estanque de detención es que el gasto máximo posterior al desarrollo urbano se reduzca, como mínimo, a la magnitud que tenía en las condiciones previas. La crítica básica de tal enfoque, es que incluso con el estanque de detención, el escurrimiento total se incrementa debido a la urbanización. Esto último justifica el uso de los estanques de retención y de las prácticas de inducción de la infiltración[6].

Los elementos principales de un estanque de detención son: el almacenamiento, el dique o terraplén, la(s) estructura(s) de descarga y el vertedor de emergencia. El diseño hidrológico e hidráulico de los estanques de detención es un proceso de ensayo—error, durante el cual se busca la combinación más adecuada entre almacenamiento, dimensiones y costo. Otros aspectos que pueden influir el diseño son las consideraciones estéticas y ambientales[6].

“En general los sistemas municipales o estatales se abastecen por medio de pozos de agua subterránea de debajo de las ciudades. Esto, afecta al subsuelo por la falta de recarga suficiente, ya que la extracción es mucho mayor a la recarga, y la pavimentación extendida en las ciudades no permite ya una recarga natural proporcional a la extracción”. Además de esto cuando las tuberías de drenaje de aguas negras se rompen, descargan al subsuelo contaminando los mantos freáticos por lo que el agua subterránea está cada vez más escasa y contaminada, encareciendo su extracción y tratamiento[7].

“Se entiende por captación y aprovechamiento del agua de lluvia todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo[...], para aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, de tal manera que pueda ser utilizada posteriormente, bajo condiciones de déficit de lluvias”[1].

Actualmente en México no se tienen registros de implementaciones de este tipo de infraestructura verde.

## **2.3 Marco teórico**

### **2.3.1 El agua y los ecosistemas**

La disponibilidad de agua es uno de los factores que gobierna la vida y en consecuencia, a los ecosistemas, y paradójicamente los ecosistemas influyen en la disponibilidad, cantidad y calidad del agua. Por otro lado sabemos que casi todos los ecosistemas han sido modificados por la humanidad[8].

El agua dulce es vital para la vida humana y el bienestar económico. La sociedad extrae grandes cantidades de agua de los ríos, los lagos, los humedales y los acuíferos subterráneos para abastecer los requerimientos de las ciudades, el campo y la industria. Nuestra necesidad de agua dulce nos hizo pasar por alto los beneficios -igualmente vitales- de mantener el agua en su curso natural conservando los ecosistemas de agua dulce saludables. Sin embargo, hay un reconocimiento creciente de que los ecosistemas de agua dulce funcionalmente intactos y biológicamente complejos proveen muchas materias primas de valor económico y muchos servicios a la sociedad. Estos servicios incluyen control de las inundaciones, transporte, recreación, purificación de residuos industriales y de desechos humanos, hábitat para plantas y animales y producción de peces y otros alimentos y bienes de mercado. A largo plazo, los ecosistemas intactos tienen más probabilidad de conservar la capacidad adaptativa para mantener la producción de esos bienes y servicios de cara a las alteraciones ambientales futuras, tales como el cambio climático. Estos beneficios que brindan los ecosistemas son costosos y a menudo imposibles de reemplazar cuando los sistemas acuáticos están degradados. Por esa razón, las decisiones relacionadas con la asignación del agua siempre deberían incluir provisiones para mantener la integridad de los ecosistemas de agua dulce.

- La evidencia científica nos muestra que se pueden proteger o restaurar los ecosistemas acuáticos reconociendo lo siguiente: Los ríos, lagos, humedales y el agua subterránea que los conecta son literalmente “sumideros” en los cuales el paisaje drena. Lejos de ser cuerpos aislados o simples conductos, los ecosistemas de agua dulce están íntimamente ligados a la cuenca o a la zona de influencia de las que forman parte, y están muy influenciados por los usos y las modificaciones que hace el ser humano del terreno tanto como del agua. La red de cursos de agua en sí misma es importante para la continuidad de los procesos de los ríos.
- Los patrones dinámicos del caudal que se mantengan dentro del rango natural de variación promoverán la integridad y la sustentabilidad de los ecosistemas de agua dulce.

- Los ecosistemas acuáticos requieren, además, que los sedimentos y la línea de costas, las propiedades de calor y luz, la entrada de sustancias químicas y nutrientes y las poblaciones de plantas y animales fluctúen dentro de los rangos naturales, sin experimentar excesivas oscilaciones más allá de los rangos históricos, ni ser mantenidos a niveles constantes.

En la medida en que no se provean estos requerimientos naturales, habrá pérdida de especies y de servicios que proveen los ecosistemas en humedales, ríos y lagos. Sin embargo definir científicamente los requerimientos para proteger o restaurar los ecosistemas acuáticos es sólo el primer paso. También se requerirán nuevas políticas y aproximaciones de manejo. El enfoque de las políticas de agua actuales, hechas en forma fragmentada y orientadas por el consumo, no permite resolver los problemas de cara a la creciente degradación de nuestros ecosistemas de agua dulce. Para empezar a corregir el modo en que el agua es considerada y manejada en los Estados Unidos, nosotros recomendamos:

- 1) Enmarcar las políticas nacionales, regionales y locales de manejo del agua para incorporar explícitamente las necesidades de los ecosistemas de agua dulce.
- 2) Definir los recursos hídricos incluyendo las cuencas asociadas, de tal forma que el agua dulce sea considerada en un contexto de paisaje y de ecosistema y no de jurisdicción política o de cuerpo aislado geográficamente.
- 3) Aumentar la comunicación y la educación a través de las distintas disciplinas involucradas, especialmente entre ingenieros, hidrólogos, economistas y ecólogos, para facilitar un punto de vista integral de los recursos de agua dulce.
- 4) Aumentar los esfuerzos de restauración utilizando como guías principios ecológicos bien fundamentados.
- 5) Mantener y proteger los ecosistemas de agua dulce que aún tienen alta integridad.
- 6) Y reconocer la dependencia que tiene la sociedad del funcionamiento natural de los ecosistemas[9].

### **2.3.2 Problemática urbana**

La urbanización es parte del desarrollo de los asentamientos humanos y ha sido uno de las principales causas de afectación de los mantos freáticos y de problemas sociales, principalmente las pavimentaciones impermeables que no permiten cerrar el ciclo del agua impidiendo la infiltración al subsuelo, lo cual aumenta los escurrimientos superficiales provocando inundaciones y poniendo en contacto el agua con agentes contaminantes que encuentra en su trayecto. Por el mismo motivo las aguas superficiales se están contaminando constantemente.

“En general los sistemas municipales o estatales se abastecen por medio de pozos de agua subterránea de debajo de las ciudades. Esto, afecta al subsuelo por la falta de recarga suficiente, ya que la extracción es mucho mayor a la recarga, y la pavimentación extendida en las ciudades no permite ya una recarga natural proporcional a la extracción”. Además de

esto cuando las tuberías de drenaje de aguas negras se rompen, descargan al subsuelo contaminando los mantos freáticos por lo que el agua subterránea está cada vez más escasa y contaminada, encareciendo su extracción y tratamiento[7].

### **2.3.2.1 Infraestructura verde**

Aunque sabemos que la creciente urbanización es parte del desarrollo económico, el reto es hacer este crecimiento sustentable.

La sustentabilidad ambiental de las áreas verdes urbanas, es aquella que concilia al menos tres objetivos: la eficiencia ecológica, la equidad social y la eficiencia económica (García, 2006). Se necesita encuadrar el contexto de la sustentabilidad hacia la búsqueda de un desarrollo sustentable en la gestión de áreas verdes, designando espacios para la sociabilización, en los denominados parques urbanos[10]. Con esto podemos encuadrar el significado de “infraestructura verde”, podemos decir que es “una red de espacios verdes interconectados que conservan los valores y funciones naturales del ecosistema a la vez que provee de beneficios a las poblaciones humanas”[11].

La infraestructura verde hace uso de la vegetación, los suelos y procesos naturales para manejar y crear ambientes urbanos más saludables para la sociedad. En la escala de la planeación regional y de ciudades, la infraestructura verde se refiere al tejido de áreas naturales que sirven de hábitat, control de inundaciones, producción de oxígeno y agua limpia. Diseñar adecuadamente un terreno, su vegetación y arquitectura nos permite captar, conducir y almacenar el agua a lugares y velocidades que favorezcan la infiltración y retención de la mayor cantidad de humedad en el ambiente. La infraestructura verde funciona como un sistema pasivo de captación y aprovechamiento de agua de lluvia que no requiere de tuberías ni bombas y ayuda a reducir los costos económicos de la infraestructura artificial[11].

### **2.3.3 Sistemas de aprovechamiento de agua pluvial**

Los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia son solo una alternativa de gestión sustentable del agua, así de manera general deben contribuir en la medida de lo posible a alcanzar el desarrollo sustentable con respecto al consumo del agua[7].

“Se entiende por captación y aprovechamiento del agua de lluvia todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo[...], para aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, de tal manera que pueda ser utilizada posteriormente, bajo condiciones de déficit de lluvias”[1].

“Cada tipo de superficie receptora de la lluvia presenta una capacidad de infiltración y de retención del agua (suelo bajo cubierta de vegetación o rastrojos, suelo desnudo, suelo profundo o delgado, terreno rocoso, techos de construcciones, caminos, patios impermeabilizados, etc.). Cualquier técnica utilizada para aumentar la cantidad de agua

retenida puede ser considerada como de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, independientemente del uso que se le otorgue”[1].

### **2.3.4 Componentes de un sistema de aprovechamiento de agua pluvial**

#### **2.3.4.1 Área de captación**

La eficiencia de un sistema de captación depende en gran medida de la superficie disponible para interceptar el agua de lluvia, en el caso particular de escorrentías superficiales se le conoce como cuenca.

Las cuencas pueden definirse como concavidades creadas por la naturaleza en la superficie de la Tierra mediante las fuerzas tectónicas, la fuerza del agua y sus corrientes, los tipos de suelos, la vegetación y otros factores [...]. Son receptores de agua en la Tierra, captadores, una especie de embudos, y existen tanto en la superficie como en el subsuelo, aunque una cuenca superficial no siempre coincide con la subterránea; es común que a las cuencas subterráneas se les llame acuíferos[12].

#### **2.3.4.2 Conducción**

Los sistemas de conducción pueden variar ampliamente dependiendo del sistema de captación y aprovechamiento que se vaya a diseñar. Otro factor determinante en el diseño de la conducción es el uso que se le vaya a dar al agua, ya que esto determina los cuidados que se deben de tener para aislar el agua de agentes contaminantes.

En el caso de almacenamiento de escorrentías superficiales, los medios de conducción principal son canales. Estos se diseñan en base a las necesidades de captación, a la topografía del terreno y al sistema de captación que se esté diseñando.

#### **2.3.4.3 Almacenamiento**

Se refiere a todo el espacio donde se acumula el agua, puede ser un área superficial (estanque) natural o construido con ese fin, un acuífero natural subterráneo o artificial, las ya conocidas cisternas que se fabrican de muchas capacidades y formas, incluso el propio suelos superficial tiene una capacidad de infiltración y almacenamiento (Almacenamiento difuso). Este último tiene especial importancia porque puede diseñarse como una alternativa para reducir escurrimientos superficiales y propiciar la recarga de acuíferos.

**Almacenamiento difuso.** El volumen retenido por unidad de superficie es bajo. Las alturas de agua almacenada son pequeñas y el diseño se concentra sobre los elementos de control de salida del flujo y la geometría de las cuencas receptoras. Este tipo de almacenamientos sólo retarda el flujo superficial aumentando las alturas de escurrimiento sobre las superficies o alargando los caminos que debe recorrer el flujo hasta ser evacuado. Normalmente existen oportunidades en el diseño de la urbanización de un lugar para aumentar los tiempos y el largo de la trayectoria de los flujos hacia la red de drenaje. Por ejemplo las superficies de los terrenos públicos pueden ser nivelados, lo que permite aumentar los tiempos de traslado del agua, reduciendo los caudales máximos y permitiendo que parte del agua infiltre, al tiempo que reduce la erosión del suelo. La creatividad, junto al uso de tecnologías adecuadas, puede

ayudar a conseguir un buen drenaje, condiciones estéticas y del paisaje mejoradas, control de la erosión, al mismo tiempo que se logran costos de construcción, operación y mantenimiento menores[13].

**Almacenamientos localizados.** El volumen unitario es alto. Se trata de obras diseñadas con el propósito especial de almacenar volúmenes importantes de agua. Se pueden encontrar sobre la superficie del terreno o bajo ella. En general se trata de lugares especialmente seleccionados para acumular el agua, la cual es conducida hacia ellos desde sectores relativamente amplios[13].

#### **2.3.4.4 Distribución**

Este es el componente final del sistema que tiene la función de llevar el agua al lugar de su utilización. Es importante que el sistema de distribución sea eficiente, es decir, que no tenga grandes pérdidas de agua, que no requiera de tanta energía para su funcionamiento, que cuente con emisores adecuados a las necesidades del beneficiario final (jardines, arboles, etc.). Esto último constituye otro tema que requiere de experiencia, técnicas refinadas de diseño y conocimientos, tanto en diseño de sistemas automatizados como de las necesidades hídricas de cada planta. Por estas razones esta última parte se sale del alcance de este proyecto de intervención.

#### **2.3.5 Conceptos relacionados con el aprovechamiento de agua de lluvia**

La primera agua aprovechable es la que se infiltra directamente al suelo. El suelo es un medio poroso y, por lo tanto, permeable, que presenta diferentes velocidades de infiltración del agua en el perfil. Cuanto más agua se infiltra durante una lluvia, tanto mejor para su aprovechamiento, ya que los caminos que puede seguir son útiles: producción vegetal y recarga de la napa freática[1].

Al iniciarse la precipitación, la tasa o velocidad de infiltración de agua en el suelo generalmente es más alta y todo o gran parte del volumen precipitado se infiltra. Una vez alcanzada la capacidad de retención inicial del suelo, la intensidad de la escorrentía superficial viene a ser la diferencia entre la intensidad de lluvia menos la velocidad de infiltración en el suelo[1].

Escorrentía = precipitación - infiltración

Esta escorrentía superficial también puede ser aprovechada utilizando distintos métodos de captación (estanques, cisternas, humedales, o combinaciones de dos o más métodos).

A continuación se presentan las definiciones más importantes relacionadas con este tema[6].

**Periodo de retorno.-** Es una forma de expresar la probabilidad de excedencia, por eso se dice la lluvia o intensidad de 10 años o la creciente de 100 años en lugar de decir, los eventos cuyas probabilidades de excedencias son de 10 y 1% en cada año, correspondiendo a las posibilidades de 1 en 10 y 1 en 100. El periodo de retorno no significa que el evento de Tr años ocurrirá cada Tr años, sino que más bien existe una probabilidad de 1/Tr de que tal evento ocurra en cada año.

**Curvas IDF.-** Son los resultados del análisis probabilístico de los registros de un pluviógrafo, presentados en un gráfico logarítmico con las duraciones en las abscisas, las intensidades en las ordenadas, y la frecuencia definiendo cada curva correspondiente a un periodo de retorno.

**Coefficiente de escurrimiento.-** Este valor refleja la habilidad de la cuenca para convertir lluvia en escurrimiento, teóricamente varía de 0 a 1. Algunos factores que influyen en este coeficiente son pendiente, características de la superficie de encharcamiento, intensidad de la lluvia, contenido de humedad del suelo, su grado de compactación, la proximidad del nivel freático, etc.

**Clasificación de cuencas.-** Se clasifican en cuencas pequeñas y grandes (Definido un tamaño máximo de cuenca pequeña de 65 has). Se hace esta clasificación debido a que los procedimientos para el estudio difieren de una cuenca grande a una pequeña.

Para una cuenca pequeña, las características de los escurrimientos están mayormente influenciadas por las condiciones físicas del suelo y la vegetación sobre la superficie, por lo que tiene mayor importancia la cuenca misma que los escurrimientos.

Para una cuenca grande los escurrimientos (cauces) se vuelven igualmente importantes ya que almacenan y conducen grandes cantidades.

### 2.3.6 Estimación de crecientes de diseño

Para la estimación de crecientes de diseño en cuencas urbanas los métodos más comunes son: Método de Chow, del TR-55 y el racional.

En general el **método racional** solo es aplicable a cuencas pequeñas donde los efectos de almacenamiento en los cauces son todavía despreciables[6].

La fórmula del método racional en el sistema inglés es:

$$Q=C.i.A$$

*Fórmula 1. Fórmula racional*

Q se expresa en pies cúbicos por segundo (cfs), i en pulgadas por hora (in/h) y A en acres.

En el sistema métrico el gasto es litros por segundo (l/s), la intensidad en milímetros por hora (mm/h) y el área de la cuenca en hectáreas (ha), es decir  $10^4.m^2$ , la fórmula es:

$$Q=2.778.C.i.A$$

Cuando el gasto se expresa en  $m^3/s$  y el área de la cuenca en  $km^2$ , con a intensidad en mm/h, la fórmula es

$$Q=.2778.C.i.A$$

*Fórmula 2. Fórmula racional SI*

En zonas urbanas, las cuencas usualmente tienen áreas o subcuencas con características superficiales diferentes (suelo desnudo, áreas impermeables, etc.), por eso es necesario el análisis parcial de cada subcuenca.

$$Q = 2.778. i. \sum_{j=1}^n C_j. A_j$$

Donde el coeficiente de escurrimiento en áreas compuestas es:

$$C = \frac{\sum_{j=1}^n C_j. a_j}{A}$$

Fórmula 3. Coeficiente de escurrimiento - áreas compuestas

Donde  $a_j$  es el área de cada tipo de cobertura y  $A$  el área total de la cuenca.

### 2.3.7 Dimensionamiento de estanque

#### 2.3.7.1 Almacenamiento

El *método del algoritmo de pico secuente*, es el que se adapta a demandas variables. Básicamente consiste en: a) encontrar la primer entrada neta máxima (P1), b) posteriormente la siguiente entrada mayor (pico secuente, P2), c) luego la menor entrada entre los dos picos (<T1) para calcular el volumen  $S=T1-P1$ , d) buscar el pico secuente (P3) mayor a P2 y encontrar el valor mínimo  $T2$  que se encuentre entre  $P2$  y  $P3$  para calcular  $P2 - T2$ , repetir el último paso para todos los picos secuentes[14].

Finalmente la capacidad útil mínima necesaria para el periodo de datos es:

$$Su = \max. (P_j - T_j) V_j$$

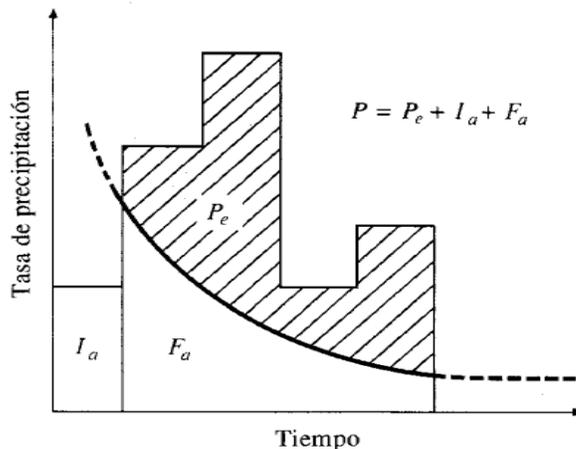
Fórmula 4. Volumen útil - algoritmo de pico secuente

| ①   | ②          | ③          | ④           | ⑤                  | ⑥          | ⑦          | ⑧               |
|-----|------------|------------|-------------|--------------------|------------|------------|-----------------|
| mes | $X_i$      | $D_i$      | $X_i - D_i$ | $(X_i - D_i)_{ac}$ | Vol.       | Derrame    | Estado del vaso |
|     | $10^3 m^3$ | $10^3 m^3$ | $10^3 m^3$  | $10^3 m^3$         | $10^3 m^3$ | $10^3 m^3$ |                 |
| 1   | 120        | 220        | -100        | -100               | 920        |            |                 |
| 2   | 130        | 250        | -120        | -220               | 800        |            |                 |
| 3   | 115        | 305        | -190        | -410               | 610        |            |                 |
| 4   | 125        | 480        | -355        | -765               | 255        |            |                 |
| 5   | 140        | 305        | -165        | -930               | 90         |            |                 |
| 6   | 325        | 250        | + 75        | -855               | 165        |            |                 |
| 7   | 450        | 220        | +230        | -625               | 395        |            |                 |
| 8   | 590        | 180        | +410        | -215               | 805        |            |                 |
| 9   | 380        | 150        | +230        | + 15               | 1 020      | 15         | lleno           |
| 10  | 280        | 150        | +130        | +145               | 1 020      | 130        | lleno           |
| 11  | 190        | 160        | + 30        | +175 $P_1$         | 1 020      | 30         | lleno           |
| 12  | 110        | 200        | - 90        | + 85               | 930        |            |                 |
| 1   | 120        | 220        | -100        | - 15               | 830        |            |                 |
| 2   | 130        | 250        | -120        | -135               | 710        |            |                 |
| 3   | 115        | 305        | -190        | -325               | 520        |            |                 |
| 4   | 125        | 480        | -355        | -680               | 165        |            |                 |
| 5   | 140        | 305        | -165        | -845 $T_1$         | 0          |            | vacío           |
| 6   | 325        | 250        | + 75        | -770               | 75         |            |                 |
| 7   | 450        | 220        | +230        | -540               | 305        |            |                 |
| 8   | 590        | 180        | +410        | -130               | 715        |            |                 |
| 9   | 380        | 150        | +230        | +100               | 945        |            |                 |
| 10  | 280        | 150        | +130        | +230               | 1 020      | 55         | lleno           |
| 11  | 190        | 160        | + 30        | +260 $P_2$         | 1 020      | 30         | lleno           |
| 12  | 110        | 200        | - 90        | +170               | 930        |            |                 |

Tabla 1. algoritmo de pico secuente

## Entradas por precipitaciones

El Soil Conservation Service (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad en exceso de precipitación o escorrentía directa  $p_e$  es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación  $P$ ; de manera similar, después de que la escorrentía inicia, la profundidad adicional de agua retenida en la cuenca, es menor o igual a la retención potencial máxima  $S$ .



Existe una cantidad de precipitación  $I_a$  (abstracción inicial antes del encharcamiento), para la cual no ocurrirá escorrentía[15].

## Pérdidas de agua por evaporación

El agua que se pierde en la atmósfera desde la superficie del estanque se llama evaporación. La cantidad de agua que se pierde por evaporación depende mucho de las condiciones climáticas locales.

Las temperaturas elevadas, la poca humedad, los vientos fuertes y el sol incrementan la evaporación. Las temperaturas bajas, la humedad alta, la pluviosidad y nubosidad disminuyen la evaporación.

La evaporación también dependerá del área de la superficie del agua. Cuanto mayor sea el estanque, más agua se evaporará de su superficie[16].

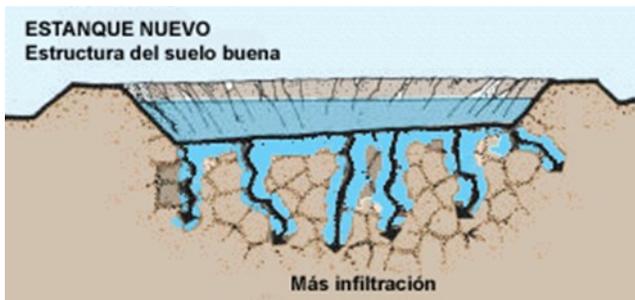
## Pérdidas de agua por infiltración

El agua que se pierde verticalmente a través del fondo del estanque, horizontalmente a través de las paredes por infiltración y por el sistema de desagüe del estanque, se llama agua de infiltración.



Si los terraplenes de su estanque están bien contruidos y mantenidos y su sistema de desagüe es impermeable, la cantidad de agua perdida por infiltración horizontal será muy pequeña. Sólo tendrá que calcular la infiltración vertical.

La infiltración de agua es mayor en un estanque nuevo cuando se llena por primera vez. La estructura del suelo del estanque será todavía buena y se perderá agua.



Después que el estanque ha estado lleno durante algún tiempo, el agua tiende a disgregar la estructura del suelo y los poros de éste los cierra la materia orgánica que se acumula en el fondo, con el resultado de que disminuirán la permeabilidad del suelo y las pérdidas por infiltración [16].



## 2.4 Marco legal

### 2.4.1 Legislación sobre el agua en México

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), que en el artículo 27, párrafos primero y quinto, establece la propiedad originaria de la nación sobre las aguas.

El servicio de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales está regulado en el artículo 115 de la CPEUM, en el que se establece que es de competencia municipal.

En la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento se mantienen los principios constitucionales para que el uso o aprovechamiento de las aguas se haga sólo mediante concesiones y todo lo inherente a estas concesiones.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (LGEEPA) establece criterios para prevenir y controlar la contaminación del agua, los cuales incluyen la importancia ambiental del tema, las obligaciones del Estado en la materia y el tratamiento de las descargas de aguas residuales. De acuerdo con la LGEEPA, corresponde a la SEMARNAT expedir las Normas Oficiales Mexicanas para prevenir y controlar la contaminación de las aguas nacionales[8].

#### **2.4.2 Autoridades encargadas del agua en México**

De conformidad con las leyes en la materia, corresponde, en primera instancia, a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) desempeñar las siguientes funciones:

- Formular y conducir la política nacional en materia de aguas.
- Establecer, en coordinación con otras dependencias, las Normas Oficiales Mexicanas sobre descargas de aguas residuales.
- Organizar, dirigir y reglamentar los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y álveos de aguas nacionales, tanto superficiales como subterráneos.
- Administrar, controlar y reglamentar el aprovechamiento de cuencas hidráulicas, vasos, manantiales y aguas de propiedad nacional, y de las zonas federales correspondientes, con excepción de los que se atribuya expresamente a otra dependencia.
- Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares que deban satisfacer las descargas de aguas residuales, cuando sean de jurisdicción federal.
- Autorizar, en su caso, el vertimiento de aguas residuales en el mar, en coordinación con la Secretaría de Marina cuando provenga de fuentes móviles o plataformas fijas, en cuencas, cauces y demás depósitos de aguas de propiedad nacional.
- Promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura y los servicios necesarios para el mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas.
- Manejar el sistema hidrológico del Valle de México.
- Otorgar contratos, concesiones, licencias, permisos, autorizaciones, asignaciones, y reconocer derechos, según corresponda, en materia de aguas.

Para el cumplimiento de estas obligaciones, en 1989 se creó la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual es la máxima autoridad en materia de la cantidad y calidad de agua[8].

### **2.4.3 Programas en materia de agua en México**

Basados en el Plan Nacional de Desarrollo (PND), hay una serie de programas sectoriales, especiales, institucionales y regionales, que se ocupan de los temas de prioridad nacional.

Entre los programas sectoriales a que hace referencia en el PND se encuentra el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006.

Por su parte, la CONAGUA cuenta con el Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 (PNH), en el cual se explican a profundidad las estrategias y políticas a seguir para la consecución de objetivos establecidos en el PND.

Derivados del PNH, están los Programas Hidráulicos Regionales, que se ocupan de la aplicación de la política hidráulica en el ámbito específico de una región. En la actualidad hay 12 Programas Hidráulicos Regionales: Noroeste, Pacífico Norte, Balsas, Pacífico Sur, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Lerma Santiago Pacífico, Golfo Norte, Golfo Centro, Frontera Sur, Península de Yucatán, Aguas del Valle de México y Cutzamala.

Además de los programas regionales mencionados, dentro de la CONAGUA hay otros como el Programa de Ampliación de Distritos de Riego, el Programa de Devolución de Derechos (Prodder) y el Programa de Modernización de Organismos Operadores del Agua (Promagua), los cuales, de manera general, buscan auxiliar a los estados y municipios para el mejoramiento cuantitativo y cualitativo en los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en zonas urbanas[8].

#### **Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE).**

El Presidente de la República Mexicana, Lic. Enrique Peña Nieto, ordenó la formulación del Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), el día 10 de enero de 2013 en

Zacatecas. En el cuál instruyó a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para que lo diseñara y coordinara. El componente principal será, primero, el alertamiento, y segundo, la actuación temprana para prevenir y actuar oportunamente ante eventuales contingencias climatológicas que vayan a afectar a la población y a la productividad del campo[17].

El PRONACOSE para el período 2013-2018 tiene un enfoque integral en los siguientes aspectos:

- Prevención. Estimar recursos, definir acciones y organización de diversa índole que permitan evitar los efectos de las sequías.
- Mitigación. Reducir impactos en la población, en sus bienes, en la infraestructura urbana y en el medio ambiente.

#### **Ley De Agua Potable Y Alcantarillado del Estado De Sinaloa (Decreto Número 28).**

El artículo 5° refiere que los Ayuntamientos de la entidad establecerán las políticas, lineamientos y especificaciones conforme a las cuales deberá efectuarse la construcción, ampliación, rehabilitación, administración, operación, conservación y mantenimiento de los

sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento de los centros poblados y asentamientos humanos correspondientes.

En el artículo 10° fracción V menciona que la Comisión Estatal de Agua Potable del Estado de Sinaloa (CEAPAS) participará en la vigilancia del mejor aprovechamiento de cualquier recurso federal, estatal o municipal, que esté destinado al servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Además, la fracción VII establece que dicha Comisión desarrollará programas de orientación a los usuarios con el objeto de proteger la calidad del agua potable y propiciar su aprovechamiento racional; y la fracción IX consigna que debe mantenerse actualizado el inventario de los bienes y recursos de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento y las reservas hidrológicas del Estado[17].

### **Ley de Planeación para el Estado de Sinaloa**

El artículo 1° refiere a que las disposiciones contenidas de esta Ley son de orden público e interés social y su finalidad es la de establecer:

La fracción IV describe las bases que permiten promover y garantizar la participación democrática de los distintos grupos sociales a través de sus organizaciones representativas, en la elaboración, ejecución y seguimiento de los planes y programas a que se refiere esta Ley y en la fracción V se dan las bases para que las acciones de los particulares contribuyan a alcanzar los objetivos, las metas y las prioridades de dichos planes y programas.

El artículo 18° hace referencia que en el ámbito del Sistema Estatal de Planeación Democrática tendrá lugar la participación y consulta de los diversos grupos sociales, con el propósito de que la población exprese sus opiniones y comprometa responsabilidades para la elaboración, actualización y ejecución de los Planes Municipales y de los Programas a que se refiere esta Ley, y que coadyuven y amplíen los objetivos señalados en el Plan Estatal de Desarrollo.

El artículo 21° señala que los Planes Municipales de Desarrollo autorizados por los H. Ayuntamientos contendrán los objetivos generales, estrategias y prioridades del Desarrollo Integral del Municipio; se establecerán los lineamientos de política de carácter global, 27 sectorial y de servicios municipales, y regirán el contenido de los Programas Operativos Anuales, siempre en concordancia con el Plan Estatal de Desarrollo y con el Plan Nacional de Desarrollo[17].

### **Organismo Operador de Agua Potable y Saneamiento.**

Dentro de su estructura, el organismo operador dispone de una gerencia de operación cuyas atribuciones genéricas que le confiere el artículo 23° del citado reglamento son:

I. Coordinar las estrategias de mejoras en la producción, desinfección y distribución del agua potable, así como el saneamiento de las aguas residuales, en el municipio de Culiacán.

II. Mantener en buen estado las redes de distribución de agua potable y alcantarillado para garantizar el servicio a los usuarios del municipio de Culiacán.

IV. Recabar información sobre la situación que presentan las instalaciones de las plantas potabilizadoras, pozos, cárcamos, taller de medidores, laboratorio de calidad del agua y demás áreas de trabajo para proponer rehabilitaciones.

V. Mantener estrecha coordinación con la CONAGUA y CFE, para efectos de suministros y aplicación de normas[17].

### **3 Proyecto de intervención**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de captación, almacenamiento y regulación de agua de lluvia, como alternativa para regar las áreas verdes del Parque Ecológico de la Ciudad de Culiacán, Sinaloa, y contribuir en la mitigación de los efectos negativos de la urbanización en el ciclo y el cuidado del agua.

#### **3.2 Objetivos específicos**

4.1.2.1 Caracterizar la cuenca correspondiente al sistema a diseñar.

4.1.2.2 Determinar caudal y volumen de diseño.

4.1.2.3 Diseñar sistema de captación, almacenamiento y regulación.

#### **3.3 Justificación**

El 22 de noviembre de 2012 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación los “Lineamientos que establecen los criterios y mecanismos para emitir acuerdos de carácter general en situaciones de emergencia por la ocurrencia de sequía, así como las medidas preventivas y de mitigación, que podrán implementar los usuarios de las aguas nacionales para lograr un uso eficiente del agua durante sequía”.

El objetivo de estos Lineamientos es: “establecer los criterios y mecanismos aplicables para que la CONAGUA pueda emitir Acuerdos de Carácter General de emergencia por ocurrencia de sequía, así como proponer a los usuarios de las aguas nacionales las medidas preventivas y de mitigación de la sequía conforme a las cuales podrán lograr un uso eficiente del agua, preservándola”[17]

En la publicación de “programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía 2014” CONAGUA presenta estudios de la tendencia decreciente del abasto de agua en los mantos acuíferos de la región de Culiacán.

La administración del agua es un tema importante en el crecimiento urbano debido al incremento en la escasez de este recurso. Como resultado los **sistemas de captación de agua de lluvia** están recibiendo especial atención como una alternativa del recurso del agua.

El presente documento presenta una propuesta de un sistema de captación, almacenamiento y regulación del agua de lluvia para el Parque Ecológico de la ciudad de Culiacán, Sinaloa. También pretende aportar los conocimientos referentes al tema con el objetivo de replicar

estos sistemas en áreas verdes de cualquier zona de la región donde sea factible y contribuir en la concientización de la gestión del agua y en la prevención de problemas de inundación y contaminación, como ya se ha mencionado.

Este sistema consiste básicamente en captar los escurrimientos superficiales que atraviesan el parque aprovechando la topografía del lugar para provocar la convergencia de estas escorrentías al punto más bajo y almacenarla en estanques para proveer agua para riego. Estos estanques también tendrán la función de regular las descargas reduciendo el gasto pico de tormentas.

Otra finalidad de este proyecto es evitar que el agua captada por la cuenca escurra por superficies contaminadas y que arrastre la basura que se encuentra en las zonas impermeables, conservando así, la calidad del agua de cauces naturales superficiales y de los mantos acuíferos.

El documento final se presentara a la dirección de la organización que está a cargo de este parque, y responsables de CONAGUA en la región.

Los resultados de esta propuesta podrán ser utilizados directamente por la organización a cargo del Parque Ecológico, por las entidades responsables de la gestión del agua como CONAGUA y autoridades municipales involucradas en este tema , beneficiando así a los pobladores de la región que viven en zonas inundables y en lugares con problemas de sequía.

En conclusión, este proyecto es de suma importancia ya que de no concretarse se seguirá como hasta hoy, sin información para promover este tipo de infraestructuras que contribuyen a mitigar los efectos negativos de la urbanización, de manera paralela el desarrollo de este tipo de proyectos podría influir significativamente sobre la falta de voluntad de autoridades involucradas en estos temas ya que parte de la falta de voluntad puede ser problema de información.

Además la institución SBZS podrá, una vez lográndose la implementación de este proyecto dar un mensaje ecológico a la sociedad, ya que este proyecto puede ser el inicio y parte de una red de infraestructura urbana sustentable.

### **3.4 Metodología**

#### **Introducción**

En este apartado se dará una descripción detallada del procedimiento metodológico para llevar a cabo las actividades necesarias para lograr los objetivos específicos, atendiendo a la naturaleza del proyecto y el alcance definido para obtener los resultados esperados, establecidos en el objetivo general.

#### **3.4.1 Factibilidad**

En cuanto a la factibilidad de realizar el documento del proyecto de intervención, el primer paso es confirmar que este tipo de proyecto puede incluirse en el plan maestro del parque

ecológico. Otro punto importante relacionado con la factibilidad es la revisar detalladamente aspectos hidrológicos e hidráulicos actuales de la cuenca que tienen que ver con el diseño y funcionamiento del sistema propuesto, de los cuales, uno de los más importantes son los niveles topográficos que involucra la superficie de almacenamiento propuesta en el diseño arquitectónico.

Cabe mencionar que, por razones de tiempo, el alcance de dicho documento incluirá hasta la etapa del diseño de la captación, almacenamiento y regulación del agua de lluvia. El diseño del sistema de distribución queda sujeto a etapas posteriores.

### **3.4.2 Recopilación de información**

En esta parte se obtendrá toda la información necesaria para hacer una correcta planeación, justificación y desarrollo del proyecto, se investigará si existe información que nos sirva como recurso para realizar los cálculos necesarios para lograr los objetivos del proyecto. Dentro de esta información podemos mencionar: reconocimiento del sitio, nivel de desarrollo del proyecto arquitectónico, información topográfica y pluviométrica.

#### **3.4.2.1 Información topográfica**

Esta información se solicitará al departamento de proyectos de la institución responsable del parque; “Sociedad Botánica y Zoológica de Sinaloa IAP”.

De esta información obtendremos todo lo relativo a la caracterización topográfica de la cuenca y cauces involucrados en el proyecto.

De requerirse información adicional a la existente, se tendrá que gestionar con la institución para que nos apoyen con los datos topográficos faltantes, ya que ellos cuentan con el equipo y el personal para hacer estos levantamientos.

#### **3.4.2.2 Registros de precipitaciones**

De registros de la estación de CONAGUA más cercana a la cuenca en estudio (a un costado de la presa derivadora en Culiacán Sinaloa) se obtendrá la precipitación media para el periodo mayor al que esté disponible con objeto de determinar el volumen de escurrimiento medio disponible en la cuenca.

Se obtendrá la información de las precipitaciones máximas anuales acumulada en 24 horas para la estimación de las curvas IDTr con el mayor número de registros, para obtener mayor aproximación en los resultados.

#### **3.4.2.3 Visita de campo**

Como parte de la recopilación se realizarán visitas de campo para hacer una inspección detallada de la cuenca. En la visita se hará un reconocimiento físico del perímetro de la manzana que contiene el parque ecológico, centro de ciencias y vivero comercial del Jardín Botánico para definir los límites de la cuenca, ya que pudiera haber canalizaciones de drenaje,

ajenas a la topografía del terreno que pudieran conectar hidráulicamente la cuenca a otras áreas que aporten agua a la misma.

Se hará una inspección de la infraestructura existente que tenga influencia en la definición de las subcuencas y sus cauces principales, así como de los cauces existentes que permanecerán dentro del proyecto y que definirán parte de los cauces definitivos de cada subcuenca.

En la visita de campo se elaborará un registro detallado de las diferentes áreas, clasificándolas por coberturas superficiales homogéneas o equivalentes para la obtención de coeficientes de infiltración de las mismas y de la cuenca general.

Información adicional que se obtendrá de la visita al sitio es el comportamiento hidrológico e hidráulico de los componentes de la cuenca (subcuencas y cauces principales). Esto en términos de observar zonas inundadas y canales desbordados a través de la inspección de las huellas de niveles alcanzados en los cauces por avenidas recientes, así como el comportamiento de la cuenca en cuanto a infiltración posterior a cada tormenta.

#### **3.4.2.4 Suelo**

De estudios de mecánica de suelos realizados por la empresa “Centro experimental y servicios en ingeniería civil” se obtendrán resultados correspondientes a la estratigrafía y propiedades del suelo como información auxiliar en la evaluación de condiciones de infiltración.

### **3.4.3 Variables de ingeniería básica**

#### **3.4.3.1 Clasificación de la cuenca**

Según Campos Aranda en su libro de Hidrología Urbana en las cuencas pequeñas son válidas las tres consideraciones siguientes:

- (1) La lluvia se puede aceptar distribuida uniformemente en el tiempo
- (2) La lluvia se puede aceptar distribuida uniformemente en el espacio y
- (3) La duración de la tormenta generalmente excede el tiempo de concentración

Además, el escurrimiento tiene las dos siguientes características:

- (a) Procede principalmente del flujo sobre el terreno y
- (b) Los procesos de almacenamiento en cauces son despreciables.

Las cuencas que poseen alguna o todas las propiedades anteriores son *pequeñas* en un sentido hidrológico.

#### **3.4.3.2 Caracterización de la cuenca**

##### **Subcuencas**

Para realizar los estudios hidrológicos es necesario hacer un análisis completo de la cuenca de donde se obtendrá la información para calcular o estimar las variables que intervienen en los cálculos. Para esto se deben definir las áreas de la cuenca que drenan a los diferentes puntos del estanque que se tiene considerado en el proyecto del parque, estas áreas son las subcuencas o las diferentes áreas que componen la cuenca, también es importante definir las áreas con condiciones de cobertura relativamente homogénea para hacer la estimación más aproximada del coeficiente de escurrimiento de la cuenca, que se aplicará en la fórmula del método racional.

### **Longitud y pendiente de los cauces**

A partir de la definición de las áreas o subcuencas definidas en el punto anterior, y tomando como base el proyecto arquitectónico y canales existentes definidos por la topografía del parque, se definen los recorridos de los cauces que llegan al estanque. Definida esta característica de los cauces podemos obtener la longitud y el desnivel correspondiente de cada cauce para determinar la pendiente con el procedimiento siguiente:

Utilizando la fórmula de Taylor-Schwarz m que consiste en dividir en  $m$  tramos iguales el colector principal, lo suficientemente pequeños en longitud para que en ellos sea aceptable como pendiente promedio ( $s_i$ ) el cociente  $h/l$ , donde  $h$  es su desnivel y  $l$  su longitud común, ambas en metros.

$$S_c = \left( \frac{m}{1/\sqrt{s_1} + 1/\sqrt{s_2} + 1/\sqrt{s_3} + \dots + 1/\sqrt{s_m}} \right)^2$$

*Fórmula 5. Fórmula de Taylor-Schwarz m - Pendiente media de cauces*

### **3.4.3.3 Coeficiente de escurrimiento**

El coeficiente de escurrimiento para la aplicación del método racional se determinará en base a la bibliografía de Campos Aranda “Introducción a la Hidrología Urbana”, del cual solo se tomarán dos de las tablas recomendadas para su estimación, por considerar que son las que nos dan la mejor aproximación para las condiciones particulares de la cuenca en estudio.

En la Tabla siguiente se presentan los valores de  $C$  a utilizar cuando el periodo de retomo ( $Tr$ ) es menor o igual a 10 años; cuando excede se multiplican por el siguiente factor conectivo:  $F_c = 1.10$  si  $Tr = 25$  años,  $F_c = 1.20$  si  $Tr = 50$  años y  $F_c = 1.25$  si  $Tr = 100$  años. Además, los valores bajos del  $C$  se utilizan en grandes áreas y los altos en terrenos con pendiente pronunciada.

| Uso del terreno:          | C         | Uso del terreno:                         | C         |
|---------------------------|-----------|--|-----------|
| Comercial                 |           | Calzadas y caminos                       | 0.70-0.85 |
| Centro de la ciudad       | 0.70-0.95 | Techos                                   | 0.75-0.95 |
| Zonas periféricas         | 0.50-0.70 | Áreas de césped                          |           |
| Residencial               | -         | Suelo arenoso, terreno plano (2 %)       | 0.05-0.10 |
| Áreas de casas familiares | 0.30-0.50 | Suelo arenoso, terreno medio (2 - 7 %)   | 0.10-0.15 |
| Multifamiliares separados | 0.40-0.60 | Suelo arenoso, terreno inclinado (>7 %)  | 0.15-0.20 |
| Multifamiliares juntos    | 0.60-0.75 | Suelo arcilloso, terreno plano (2 %)     | 0.13-0.17 |
| Suburbano                 | 0.25-0.40 | Suelo arcilloso, terreno medio (2 - 7 %) | 0.18-0.25 |
| Áreas de apartamentos     | 0.50-0.70 | Suelo arcilloso, terreno inclinado (>7%) | 0.25-0.35 |
| Industrial                |           | Terrenos agrícolas                       | -         |
| Áreas esparcidas          | 0.50-0.80 | Áreas de suelo desnudo liso              | 0.30-0.60 |
| Áreas densas              | 0.60-0.90 | Áreas de suelo desnudo rugoso            | 0.20-0.50 |
| Parques y cementerios     | 0.10-0.25 | Cultivos en surco                        |           |
| Campos de juego           | 0.20-0.35 | suelo arcilloso en descanso              | 0.30-0.60 |
| Patios de ferrocarril     | 0.20-0.40 | suelo arcilloso cultivado                | 0.20-0.50 |
| Áreas incultas            | 0.10-0.30 | suelo arenoso en descanso                | 0.20-0.40 |
| Calles o pavimentos       |           | suelo arenoso cultivado                  | 0.10-0.25 |
| Asfalto                   | 0.70-0.95 | Pastizal en suelo arcilloso              | 0.15-0.45 |
| Concreto                  | 0.80-0.95 | Pastizal en suelo arenoso                | 0.05-0.25 |
| Ladrillo                  | 0.70-0.85 | Bosques                                  | 0.05-0.25 |
| Poroso                    | 0.05-0.10 |  |           |

Tabla 2. Coeficientes de escurrimiento para la aplicación del método racional

A continuación se presentan los valores de *C* sugeridos en las áreas urbanas, los cuales dependen de las condiciones físicas de la superficie y del periodo de retomo de diseño.

| Características de la superficie                          | Periodo de retorno en años |      |      |      |      |      |      |
|---|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
|   | 2                          | 5    | 10   | 25   | 50   | 100  | 500  |
| <i>Urbanizada</i>   |                            |      |      |      |      |      |      |
| Superficie asfáltica                                      | 0.73                       | 0.77 | 0.81 | 0.86 | 0.90 | 0.95 | 1.00 |
| Concreto y/o azoteas                                      | 0.75                       | 0.80 | 0.83 | 0.88 | 0.92 | 0.97 | 1.00 |
| Áreas con pasto (parques, jardines, etc.)                 |                            |      |      |      |      |      |      |
| condición pobre (el pasto cubre menos del 50% del área)   |                            |      |      |      |      |      |      |
| plano (0 al 2 %)  | 0.32                       | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.58 |
| promedio (2 al 7 %)                                       | 0.37                       | 0.40 | 0.43 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.61 |
| con pendiente (> 7 %)                                     | 0.40                       | 0.43 | 0.45 | 0.49 | 0.52 | 0.55 | 0.62 |
| condición media (el pasto cubre del 50% al 75 % del área) |                            |      |      |      |      |      |      |
| plano (0 al 2 %)  | 0.25                       | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 | 0.53 |
| promedio (2 al 7 %)                                       | 0.33                       | 0.36 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.49 | 0.58 |
| con pendiente (> 7 %)                                     | 0.37                       | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.60 |
| condición buena (el pasto cubre más del 75% del área)     |                            |      |      |      |      |      |      |
| plano (0 al 2 %)  | 0.21                       | 0.23 | 0.25 | 0.29 | 0.32 | 0.36 | 0.49 |
| promedio (2 al 7 %)                                       | 0.29                       | 0.32 | 0.35 | 0.39 | 0.42 | 0.46 | 0.56 |
| con pendiente (> 7 %)                                     | 0.34                       | 0.37 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.51 | 0.58 |
| <i>Rural</i>  |                            |      |      |      |      |      |      |
| Terrenos de cultivo                                       |                            |      |      |      |      |      |      |
| plano (0 al 2 %)  | 0.31                       | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.57 |
| promedio (2 al 7 %)                                       | 0.35                       | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.60 |
| con pendiente (> 7 %)                                     | 0.39                       | 0.42 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.61 |
| Pastizales  |                            |      |      |      |      |      |      |
| plano (0 al 2 %)  | 0.25                       | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 | 0.53 |
| promedio (2 al 7 %)                                       | 0.33                       | 0.36 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.49 | 0.58 |
| con pendiente (> 7 %)                                     | 0.37                       | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.60 |
| Bosques y montes  |                            |      |      |      |      |      |      |
| plano (0 al 2 %)  | 0.22                       | 0.25 | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.39 | 0.48 |
| promedio (2 al 7 %)                                       | 0.31                       | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.56 |
| con pendiente (> 7 %)                                     | 0.35                       | 0.39 | 0.41 | 0.45 | 0.48 | 0.52 | 0.58 |

Tabla 3. Coeficiente de escurrimiento para la aplicación del método racional

En cuencas urbanas generalmente se determina por ponderado su coeficiente de escurrimiento ( $C_p$ ) con base en los estimados ( $C_i$  para cada área individual ( $a_i$ ), esto es:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^m C_i \cdot a_i}{A}$$

*Fórmula 6. Coeficiente de escurrimiento - áreas compuestas*

Donde  $m$  es el número de áreas individuales consideradas y  $A$  es el área total de la cuenca, en las mismas unidades que  $a_i$ .

### 3.4.3.4 Tiempo de concentración

En las cuencas urbanas la estimación del  $T_c$  es discretizada, teniéndose que tomar en cuenta el tipo de flujo que predomina sobre la cuenca para seleccionar la mejor fórmula empírica. En realidad, el predominio de flujo, que puede ser: (1) sobre el terreno, (2) en canal y (3) en tubería.

Estimación por componentes de flujo.

El tiempo de concentración ( $T_c$ ) puede ser considerado integrado por tres lapsos que ocurren en cada uno de los siguientes componentes: (1) flujo en lámina o sobre el terreno, (2) flujo concentrado en vaguadas y cauces y (3) flujo en canales revestidos o conductos cerrados. Generalmente estos tres componentes ocurren secuencialmente como fueron citados, pero en cuencas urbanas algunas veces sólo existe uno o dos de ellos, como es nuestro caso de estudio donde solo tenemos escurrimientos sobre el terreno y en canales.

Para estimar el tiempo de viaje en el flujo sobre el terreno se utiliza la fórmula de Kerby-Hathaway, propuesta por el primer autor en 1959 y desarrollada con base en los datos de drenaje de aeropuertos publicados en 1945 por el segundo autor, su expresión es:

$$tv_1 = \left( \frac{2.198 \cdot n_r \cdot L}{\sqrt{S}} \right)^{0.467}$$

*Fórmula 7. Tiempo de concentración - fórmula de Kerby-Hathaway*

En la cual  $tv_1$  está en minutos,  $n_r$  es el factor de resistencia al flujo sobre el terreno, sus valores se tienen en la tabla que equivale al coeficiente de rugosidad de Manning, pero en este flujo el impacto de la superficie es mucho mayor pues casi todo el tirante o lámina es afectada y en los canales o cauces únicamente la parte en contacto con las paredes.  $L$  es la longitud del flujo en metros, debe ser menor de 91.5 (300 ft). Finalmente,  $S$  es la pendiente del terreno en m/m.

| Tipo de superficie:  | $n_r$     |
|--|-----------|
| Pavimentos lisos   | 0.020     |
| Asfalto o concreto   | 0.05–0.15 |
| Suelo desnudo compacto, sin piedras                        | 0.10      |
| Terreno moderadamente rugoso o cobertura de pasto disperso | 0.30      |
| Cobertura dispersa de césped                               | 0.20      |
| Cobertura moderada de césped                               | 0.40      |
| Cobertura densa de césped                                  | 0.17–0.80 |
| Pasto denso  | 0.17–0.30 |
| Pasto Bermuda  | 0.30–0.48 |
| Bosque maderable   | 0.60      |

Tabla 4. Factor de resistencia al flujo sobre el terreno

Para estimar el tiempo de viaje o de concentración sobre el terreno, también se puede utilizar la *Fórmula de la Agencia Federal de Aviación*. Desarrollada con datos de drenaje de aeropuertos, se considera válida en cuencas pequeñas donde el flujo dominante es sobre el terreno, su expresión es:

$$T_c = \frac{0.7035 \cdot (1.1 - C) \cdot \sqrt{L}}{S^{0.333}}$$

Fórmula 8. Tiempo de concentración- Agencia Federal de Aviación

En donde  $C$  es el coeficiente de escurrimiento del método Racional,  $L$  se emplea en m y  $S$  en m/m.

Y la *Fórmula del Soil Conservation Service*. Sugerida para cuencas rurales homogéneas con predominio de flujo sobre el terreno y extensión máxima de 8.1 km<sup>2</sup>. La ecuación es:

$$T_c = \frac{0.0136 \cdot L^{0.80}}{\sqrt{S}} \left( \frac{1000}{N} - 9 \right)^{0.70}$$

Fórmula 9. Tiempo de concentración-Fórmula del Soil Conservation Service.

Ahora  $L$  es la longitud de la cuenca en metros,  $S$  su pendiente en m/m y  $N$  el número de la curva de escurrimiento ponderado. Los tipos de suelos por su textura que pertenecen a cada grupo, de la manera siguiente:

Grupo A: arenas y loess profundos y conjuntos de aluviones. Grupo **B**: loess poco profundos y franco arenoso. Grupo C: franco arcilloso, franco arenoso somero, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcilla. Grupo D: suelos que se hinchan o expanden significativamente cuando están mojados, arcillas plásticas pesadas y ciertos suelos salinos. Por otra parte, también el número  $N$  de una cuenca urbana se determina por ponderado de los diversos usos de su terreno, así como por diferentes porcentajes de tipo de suelo.

Números *N* de la curva de escurrimiento en áreas suburbanas y urbanas<sup>[W1]</sup>.

| Uso del terreno y condición hidrológica   | Grupo hidrológico de suelos |    |    |    |
|---|-----------------------------|----|----|----|
|   | A                           | B  | C  | D  |
| Parques, campos de Golf, cementerios, espacios abiertos, canchas deportivas, etc. |                             |    |    |    |
| Condición buena (el pasto cubre un 75 % o más del área)                           | 39                          | 61 | 74 | 80 |
| Condición regular (el pasto cubre del 50 al 75 % del área)                        | 49                          | 69 | 79 | 84 |
| Condición pobre (el pasto cubre menos del 50 del área)                            | 68                          | 79 | 86 | 89 |
| Áreas comerciales (85 % impermeable)  | 89                          | 92 | 94 | 95 |
| Distritos industriales (72 % impermeable)   | 81                          | 88 | 91 | 93 |
| Zonas residenciales:*   |                             |    |    |    |
| Tamaño promedio del lote  |                             |    |    |    |
| Promedio del área impermeable**   |                             |    |    |    |
| < 500 m <sup>2</sup>  | 65 %                        | 77 | 85 | 90 |
| 1,000 m <sup>2</sup>  | 38 %                        | 61 | 75 | 83 |
| 1,350 m <sup>2</sup>  | 30 %                        | 57 | 72 | 81 |
| 2,000 m <sup>2</sup>  | 25 %                        | 54 | 70 | 80 |
| 4,000 m <sup>2</sup>  | 20 %                        | 51 | 68 | 79 |
| 8,000 m <sup>2</sup>  | 12 %                        | 46 | 65 | 77 |
| Calzadas, tejados, estacionamientos pavimentados, etc. ***                        | 98                          | 98 | 98 | 98 |
| Calles pavimentadas con guarnición y alcantarillado.***                           | 98                          | 98 | 98 | 98 |
| Caminos pavimentados incluyendo derecho de vía y canales                          | 83                          | 89 | 92 | 92 |
| Caminos engravados incluyendo derecho de vía.                                     | 76                          | 85 | 89 | 91 |
| Caminos de arcilla incluyendo derecho de vía.                                     | 72                          | 82 | 87 | 89 |
| Áreas urbanas en desarrollo (terrenos nivelados sin vegetación)                   | 77                          | 86 | 91 | 94 |

\* Se considera que el escurrimiento es conducido a la calle con un mínimo de pérdidas (infiltración en césped).

\*\* Las áreas permeables restantes (césped) se están considerando en condición hidrológica buena.

\*\*\* En climas cálidos usar  $N = 95$ . Excluyendo derecho de vía.

Tabla 5. *N* de escurrimiento en áreas urbanas

Cálculo de  $T_c$  para flujo en los tramos de canal abierto.

Para la estimación del tiempo de concentración en flujos concentrados, la fórmula más utilizada es la Fórmula de Kirprich.

$$t_{cs} = 0.0003455 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

Fórmula 10. Fórmula de Kirprich.

Donde  $t_{cs}$  es el tiempo de concentración sobre la superficie natural, en h;  $L$  es la longitud del cauce principal, en m; y  $S$  es la pendiente media del cauce principal. El valor entre paréntesis debe ser menor de 305, o bien el  $T_c < 5$  h.

### 3.4.3.5 Periodo de retorno

Inicialmente se considerará un periodo de retorno de 1 año, para la parte del almacenamiento permanente, el cual será revisado en el desarrollo del proyecto de intervención.

Esta consideración inicial obedece a lograr que cada año el estanque almacene la máxima capacidad, lo cual se valorará con el volumen captado por la cuenca, considerando que el objetivo principal del estanque es que el agua captada por la superficie del parque no se

desperdicio, lo que significa que se hará la evaluación correspondiente para lograr almacenar el máximo volumen de agua posible con el objetivo de darle mayor sentido de aprovechamiento del recurso, sin que esto represente costos muy altos considerando la magnitud e importancia del proyecto.

La estrategia anterior se aplicará en el análisis de todas las etapas del diseño del sistema; desde el almacenamiento, funcionamiento y regulación.

#### **3.4.3.6 Infiltración**

Se hará una revisión de estudios de suelo existentes de la cuenca, de sondeos con pozos a cielo abierto, para considerar la posibilidad de lograr inducir mayor infiltración con alguna estrategia de poco impacto, ya que al ser un área ya arborizada no es factible proponer cualquier sistema de infiltración, que en otras condiciones se pudieran proponer.

#### **3.4.4 Estudios de ingeniería básica**

El área de la cuenca se obtendrá de registros topográficos existentes que se solicitarán a la institución a cargo de la administración del espacio (Sociedad Botánica y Zoológica de Sinaloa I. A. P.), aunque para la definición de los límites de la cuenca se requerirá de la información recabada en las visitas de campo; como bombeos de banquetas y calles, la existencia de drenajes pluviales que pudieran descargar hacia el interior de la cuenca, entre otros. Sin embargo se tendrá que contratar algunos levantamientos para definir las subcuencas que integran la cuenca en estudio, que corresponden a áreas impermeables, con coberturas características, o limitadas por andadores existentes que tienen niveles y formas obligadas.

##### **3.4.4.1 Curvas IDTr**

Se obtendrán del análisis probabilístico de los registros de precipitaciones de la estación de CONAGUA más cercana, y se utilizará la ecuación general de **F. C. Bell** para construir curvas IDTr.

Para el análisis de las precipitaciones máximas diarias anuales se ajustaran siete funciones de distribución de probabilidad: Exponencial por mínimos cuadrados, Normal, Log normal 3P, Gumbel, Exponencial, Gamma 3P y Doble Gumbel. El criterio para seleccionar la función de probabilidad que mejor se ajuste a los datos es aquella que tiene el mínimo error cuadrático.

A continuación se presenta la ecuación general de F. C. Bell:

$$P_t = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 t^{0.25} - 0.50) (P_{60}^{60}) \quad \text{Fórmula 11. Ecuación general de F. C. Bell}$$

Dónde:

$P_t$  = Precipitación (mm) de duración  $t$  (minutos) y periodo de retorno  $T$  (años)

$P_{60}^{60}$  = Precipitación (mm) de duración 60 minutos y periodo de retorno de 2 años

$T$  = Periodo de retorno (años)

$t$  = Duración de la lluvia (minutos)

En la ecuación anterior se tiene el término  $P_{602}$ , el cual es necesario calcular para poder usar la ecuación de F. C. Bell.

#### 3.4.4.2 Estimación de gastos de diseño

En este estudio se aplicará el método racional, ya que es aplicable a cuencas pequeñas donde los efectos de almacenamiento en los cauces son todavía despreciables.

La fórmula del método racional en el sistema inglés es:

$$Q = C.i.A$$

Cuando el gasto se expresa en  $m^3/s$  y el área de la cuenca en  $km^2$ , con  $i$  intensidad en  $mm/h$ , la fórmula es

$$Q = .2778.C.i.A$$

En zonas urbanas, las cuencas usualmente tienen áreas o subcuencas con características superficiales diferentes (suelo desnudo, áreas impermeables, etc.), por eso es necesario el análisis parcial de cada subcuenca.

$$Q = .2778.i.\sum_{j=1}^n C_j.A_j$$

Donde el coeficiente de escurrimiento en áreas compuestas es:

$$C = \frac{\sum_{j=1}^n C_j.a_j}{A} \quad \text{Donde:}$$

$a_j$  = es el área de cada tipo de cobertura.

$A$  = el área total de la cuenca.

$C_j$  = el coeficiente de escurrimiento de cada tipo de cobertura correspondiente a  $a_j$

#### 3.4.4.3 Cálculo de volumen del estanque

##### A) Almacenamiento

Partiendo de los volúmenes de entrada y la demanda, calcularemos el volumen de almacenamiento del estanque utilizando el *método del algoritmo del pico seciente*. Este procedimiento se utilizará porque es el que se adapta a demandas variables.

Básicamente consiste en:

- a) Encontrar la primer entrada neta máxima ( $P_1$ ),
- b) Posteriormente la siguiente entrada mayor (pico seciente,  $P_2$ ),
- c) Luego la menor entrada entre los dos picos ( $<T_1$ ) para calcular el volumen  $S=P_1-T_1$ ,
- d) Buscar el pico seciente ( $P_3$ ) mayor a  $P_2$  y Encontrar el valor mínimo  $T_2$  que se encuentre entre  $P_2$  y  $P_3$  para calcular  $P_2 - T_2$ ,
- e) Repetir el último paso para todos los picos secientes.

Finalmente la capacidad útil mínima necesaria para el periodo de datos es:

Su = máx. (P<sub>j</sub> - T<sub>i</sub>) Fórmula 12. Método del algoritmo del pico secuente

Los datos de entrada para aplicar este método son el volumen de escurrimiento mensual X<sub>i</sub> y la demanda mensual D<sub>i</sub>.

Como ejemplo del procedimiento se muestra la siguiente tabla.

| ①   | ②                              | ③                              | ④                               | ⑤  | ⑥                              | ⑦                              | ⑧               |
|-----|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| mes | X <sub>i</sub>                 | D <sub>i</sub>                 | X <sub>i</sub> - D <sub>i</sub> | (X <sub>i</sub> - D <sub>i</sub> ) <sub>ac</sub> | Vol.                           | Derrame                        | Estado del vaso |
|     | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>  | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>                   | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> |                 |
| 1   | 120                            | 220                            | -100                            | -100   | 920                            |                                |                 |
| 2   | 130                            | 250                            | -120                            | -220   | 800                            |                                |                 |
| 3   | 115                            | 305                            | -190                            | -410   | 610                            |                                |                 |
| 4   | 125                            | 480                            | -355                            | -765   | 255                            |                                |                 |
| 5   | 140                            | 305                            | -165                            | -930   | 90                             |                                |                 |
| 6   | 325                            | 250                            | +75                             | -855   | 165                            |                                |                 |
| 7   | 450                            | 220                            | +230                            | -625   | 395                            |                                |                 |
| 8   | 590                            | 180                            | +410                            | -215   | 805                            |                                |                 |
| 9   | 380                            | 150                            | +230                            | +15  | 1 020                          | 15                             | lleno           |
| 10  | 280                            | 150                            | +130                            | +145   | 1 020                          | 130                            | lleno           |
| 11  | 190                            | 160                            | +30                             | +175P <sub>1</sub>                               | 1 020                          | 30                             | lleno           |
| 12  | 110                            | 200                            | -90                             | +85  | 930                            |                                |                 |
| 1   | 120                            | 220                            | -100                            | -15  | 830                            |                                |                 |
| 2   | 130                            | 250                            | -120                            | -135   | 710                            |                                |                 |
| 3   | 115                            | 305                            | -190                            | -325   | 520                            |                                |                 |
| 4   | 125                            | 480                            | -355                            | -680   | 165                            |                                |                 |
| 5   | 140                            | 305                            | -165                            | -845T <sub>1</sub>                               | 0                              |                                | vacío           |
| 6   | 325                            | 250                            | +75                             | -770   | 75                             |                                |                 |
| 7   | 450                            | 220                            | +230                            | -540   | 305                            |                                |                 |
| 8   | 590                            | 180                            | +410                            | -130   | 715                            |                                |                 |
| 9   | 380                            | 150                            | +230                            | +100   | 945                            |                                |                 |
| 10  | 280                            | 150                            | +130                            | +230   | 1 020                          | 55                             | lleno           |
| 11  | 190                            | 160                            | +30                             | +260P <sub>2</sub>                               | 1 020                          | 30                             | lleno           |
| 12  | 110                            | 200                            | -90                             | +170   | 930                            |                                |                 |

Según Aparicio, este método nos da información preliminar sobre el volumen útil de almacenamiento, ya que solo incluye consideraciones hidrológicas.

Para hacer una simulación de vaso se tendrán que considerar, además de las entradas correspondientes, otras salidas como pérdidas por evaporación e infiltración.

Las entradas para este proyecto solo son los escurrimientos por precipitaciones y se obtendrán con la aplicación del método para abstracciones del SCS como se muestra a continuación:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

$$I_a = 0.2S$$

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$S = \frac{1,000}{CN} - 10$$

Dónde: P<sub>e</sub> es el exceso de precipitación, I<sub>a</sub> es la abstracción inicial, y S es el potencial de retención máxima del suelo. Los números de las curvas mostradas CN, son para

condiciones de humedad antecedente normales, para condiciones de humedad secas CNI y CNII son respectivamente:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

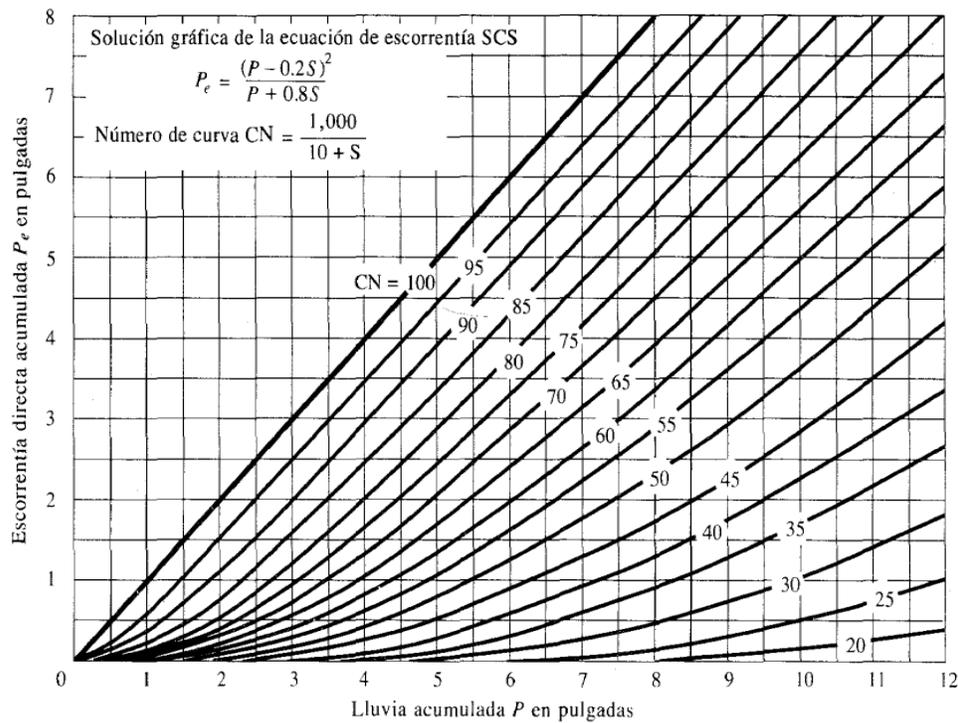
En la tabla 6 siguiente se muestran los rangos de condiciones de humedad antecedente.

Tabla 6. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS

| Grupo AMC | Lluvia antecedente total de 5 días (pulg) |                         |
|-----------|---|-------------------------|
|           | Estación inactiva                         | Estación de crecimiento |
| I         | Menor que 0.5                             | Menor que 1.4           |
| II        | 0.5 a 1.1                                 | 1.4 a 2.1               |
| III       | Sobre 1.1                                 | Sobre 2.1               |

(Fuente: Soil Conservation Service, 1972, tabla 4.2, p. 4.12).

Figura 4. Solución de las ecuaciones de escorrentía SCS.



Fuente: Soil Conservation Service

## Evaporación

Según la referencia 15, el agua se evapora más rápidamente en las cubetas de Clase A que en superficies mayores como las de un estanque. Cuando se usan las velocidades de evaporación de las cubetas de Clase A se tiene que multiplicar por un *coeficiente de corrección* de 0,75 para aproximarse más a las pérdidas efectivas.

## Infiltración

Las cifras que figuran a continuación dan las pérdidas por infiltración en diversas clases de suelo necesarias para calcular las pérdidas por infiltración del estanque durante un período de tiempo, recomendadas por la referencia 15.

| Tipo de suelo pudelado | Pérdidas por infiltración (mm/día) |
|------------------------|------------------------------------|
| Légamo arenoso         | 3-6                                |
| Légamo                 | 2-3                                |
| Légamo arcilloso       | 1-2                                |
| Arcilla legamosa       | cerca de 1                         |
| Arcilla                | cerca de 1                         |

## B) Regulación

Una parte del volumen del vaso se diseñará como volumen de detención, donde la consideración de lluvia uniforme sobre ella es aceptable para estimaciones del volumen de escurrimiento. Entonces, el almacenamiento requerido en un estanque de detención que drena una cuenca pequeña, puede ser estimado de manera directa por la diferencia entre los volúmenes de entrada y salida. Esta aproximación conocida como *método volumétrico*, implica aceptar al método Racional y considerar por simplicidad hidrogramas triangulares o trapezoidales.

Para nuestro caso se utilizará el **método basado en las curvas IDF**.

Este procedimiento utiliza el método Racional y por ello está recomendado para cuencas con un tamaño máximo de 65 hectáreas, es una técnica básica de balance, de manera que por una parte y para duraciones crecientes que varían de 5 a 250 minutos, se estima el volumen acumulado de escurrimiento que entra ( $V_e$ ) al estanque de detención y por la otra, se cuantifica el volumen acumulado de salida ( $V_s$ ) en la misma duración, función del gasto liberado; el volumen requerido ( $V_r$ ) por el estanque corresponde a la máxima diferencia encontrada entre el  $V_e$  y el  $V_s$ . Entonces con base en la curva IDF, relativa al periodo de retomo de diseño, se estima  $V_e$  con la expresión siguiente:

$$V_e = 0.00278.C.i.A.T$$

Fórmula 13. Volumen entrante

Donde  $V_e$  es el volumen acumulado de escurrimiento, en  $m^3$ ,  $C$  es el coeficiente de escurrimiento de la cuenca, adimensional,  $i$  es la intensidad de diseño correspondiente a la duración  $T$ , en  $mm/h$ ,  $A$  el área de cuenca, en  $ha$  y  $T$  la duración de la tormenta, en segundos. Por otra parte, el volumen acumulado de egresos será:

$$V_s = k \cdot Q_s \cdot T$$

Fórmula 14. Volumen saliente

En donde  $V_s$  es el volumen acumulado de salida, en  $m^3$ ,  $k$  es el factor de ajuste del gasto de salida, adimensional y  $Q_s$  gasto máximo de salida, en  $m^3/s$ .

Los cálculos con la última ecuación utilizan el gasto máximo de salida, es decir cuando el estanque está lleno, sin embargo el gasto de egreso varía con el tirante o profundidad, lo cual se corrige con el factor  $k$  obtenido de la siguiente figura, en función del cociente entre los gastos máximos de salida y de entrada.

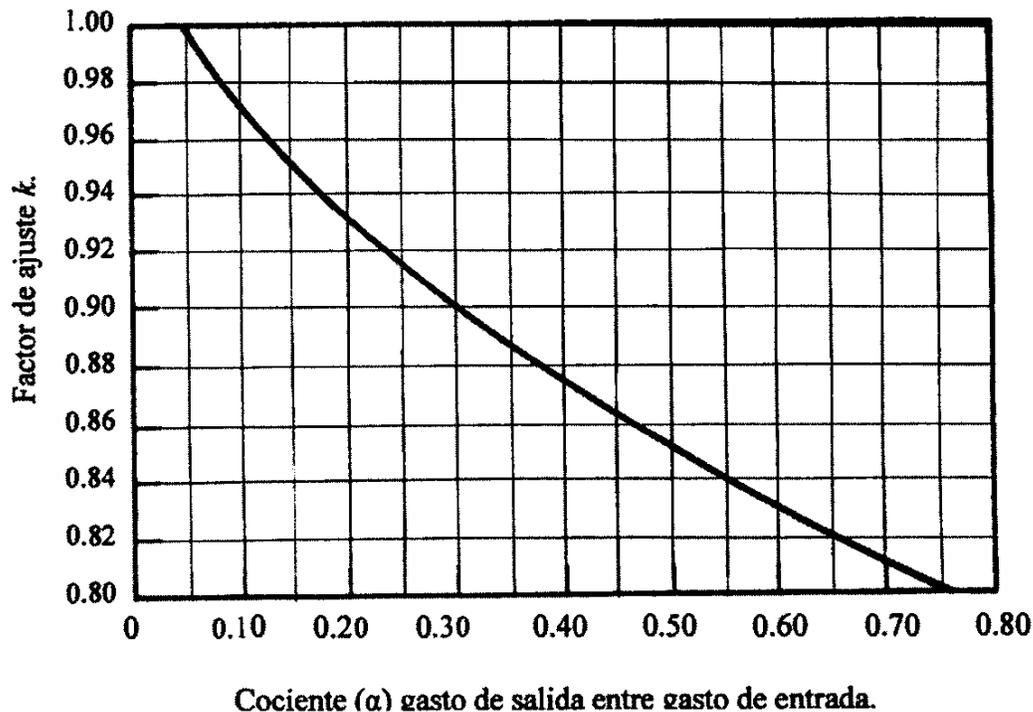


Figura 5. Factor de ajuste  $k$

Donde la función es:

$$k = 1.01287 - 0.42912 \cdot \alpha + 0.20185 \cdot \alpha^2$$

Fórmula 15. Factor de ajuste  $k$

Donde el cociente representa la fracción del gasto de entrada que se quiera tener como gasto de salida.

En seguida se muestra una tabla con los cálculos de un ejemplo con este procedimiento:

| 1                                   | 2                             | 3                                    | 4                                    | 5  |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Duración de la tormenta (T) minutos | Intensidad de lluvia (i) mm/h | Volumen entrante (Ve) m <sup>3</sup> | Volumen saliente (Vs) m <sup>3</sup> | Volumen requerido (Vr) (m <sup>3</sup> ) |
| 5.0                                 | 142.2                         | 1,921.2                              | 305.9                                | 1,615.3                                  |
| 10.0                                | 113.3                         | 3,061.5                              | 611.8                                | 2,449.7                                  |
| 15.0                                | 95.3                          | 3,862.7                              | 917.7                                | 2,945.0                                  |
| 20.0                                | 82.6                          | 4,464.0                              | 1,223.6                              | 3,240.4                                  |
| 25.0                                | 73.2                          | 4,945.0                              | 1,529.6                              | 3,415.4                                  |
| 30.0                                | 65.8                          | 5,334.1                              | 1,835.5                              | 3,498.6                                  |
| 35.0                                | 59.9                          | 5,665.1                              | 2,141.4                              | <b>3,523.7</b>                           |
| 40.0                                | 55.1                          | 5,955.6                              | 2,447.3                              | 3,508.3                                  |
| 45.0                                | 51.3                          | 6,237.9                              | 2,753.2                              | 3,484.7                                  |
| 50.0                                | 47.8                          | 6,458.2                              | 3,059.1                              | 3,399.1                                  |
| 60.0                                | 42.4                          | 6,874.3                              | 3,670.9                              | 3,203.4                                  |
| 80.0                                | 34.0                          | 7,349.9                              | 4,894.6                              | 2,455.3                                  |
| 100.0                               | 28.3                          | 7,647.1                              | 6,118.2                              | 1,528.9                                  |
| 120.0                               | 24.0                          | 7,782.2                              | 7,341.8                              | 440.4                                    |
| 150.0                               | 19.5                          | 7,903.8                              | 9,177.3                              | —  |
| 180.0                               | 16.3                          | 7,928.1                              | 11,012.8                             | —  |

Tabla 7. Ejemplo de regulación

Y gráficamente lo podemos representar:

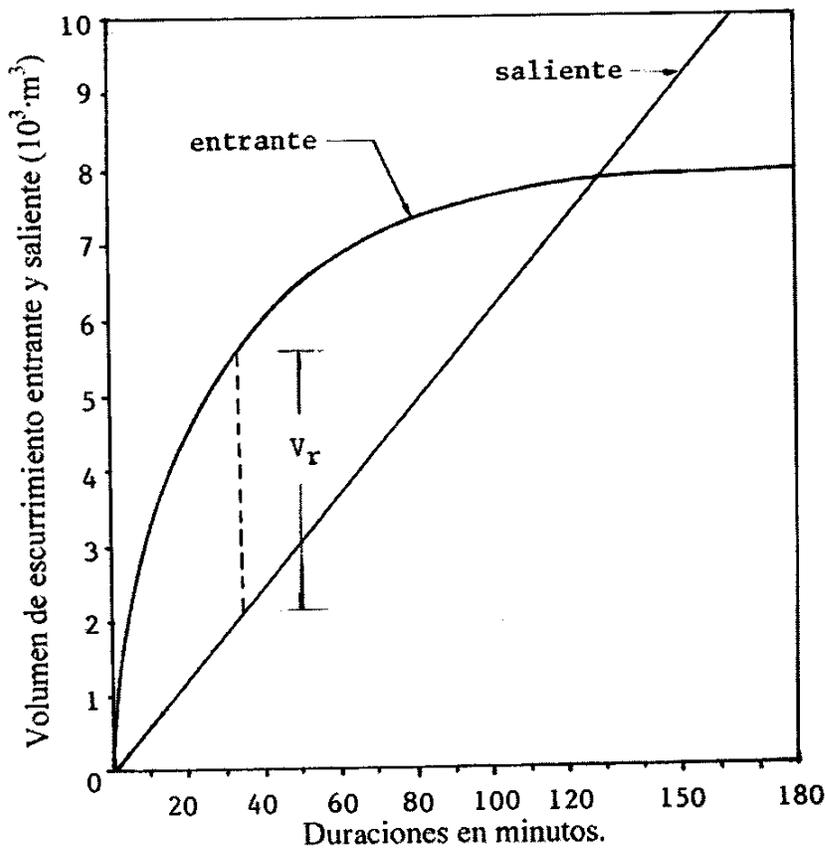


Figura 6. Volumen requerido de regulación

### 3.4.5 Estudios de ingeniería de detalle

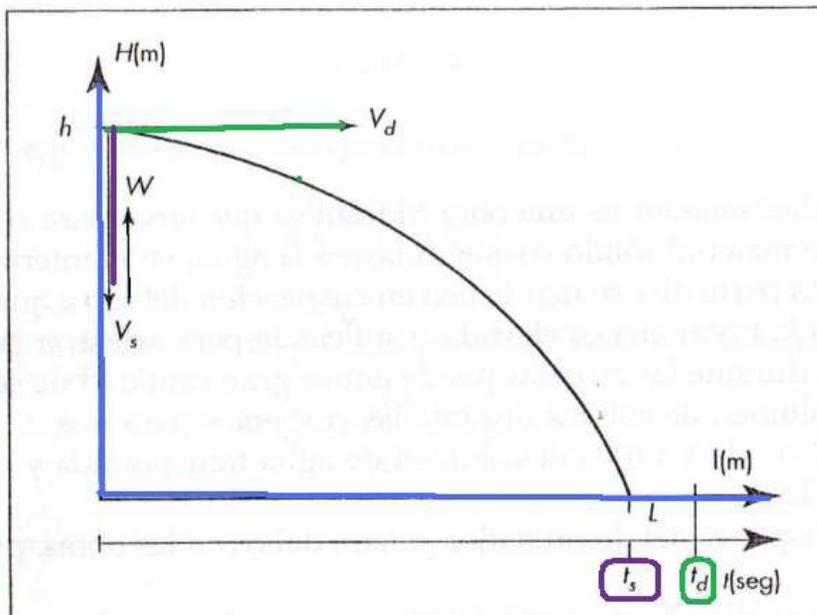
#### 3.4.5.1 Dimensiones del estanque

Las dimensiones definitivas del estanque se determinarán de manera precisa cuando se obtenga el volumen a almacenar del estanque y la superficie que de acuerdo al diseño arquitectónico ocupará dentro del espacio.

#### 3.4.5.2 Estructura de entrada

Teniendo el volumen de entrada se diseñará una estructura de concreto reforzado que funcionará como sedimentador y reductor de velocidad de entrada al estanque.

Esta parte consistirá en un sistema sencillo, con la finalidad de captar solo arenas gruesas y consistirá en una ampliación de la sección de conducción, y con sección rectangular cuyo diseño dependerá de los niveles definitivos entre el canal de entrada y los niveles del almacenamiento y regulación. De tal manera que la velocidad del flujo de entrada,  $V=Q/A$ , se reduzca lo suficiente para inducir la sedimentación dentro de dicha estructura.



Proceso de sedimentación.

Figura 7. Principio de decantador.

Si el estanque de sedimentación es un simple estanque rectangular, puede determinar su tamaño de la manera siguiente:

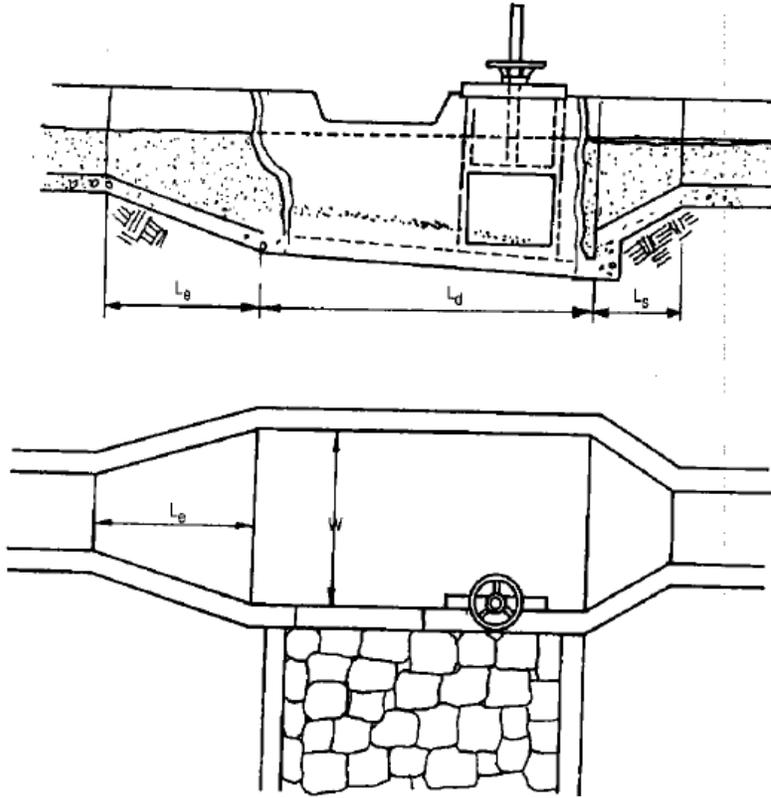


Figura 8. Decantador

La longitud de decantación se calcula fácilmente:

$$L = (V_h / V_d) * d_d * f$$

Dónde:

$f$  = factor de seguridad.

$V_h$  = velocidad horizontal en la zona de decantación.

$V_d$  = velocidad de decantación

$d_d$  = distancia de decantación.

Se recomienda un valor 2 a 3 como factor de seguridad

$$W = Q / (V_h * d_d)$$

| $d$ mm | $V_s$ m/s |
|--------|-----------|
| 0.05   | 0.178     |
| 0.10   | 0.692     |
| 0.15   | 1.560     |
| 0.20   | 2.160     |
| 0.25   | 2.700     |
| 0.30   | 3.240     |
| 0.35   | 3.78      |
| 0.40   | 4.32      |
| 0.45   | 4.86      |
| 0.50   | 5.40      |
| 0.55   | 5.94      |
| 0.60   | 6.48      |
| 0.70   | 7.32      |
| 0.80   | 8.07      |
| 1.00   | 9.44      |
| 2.00   | 15.39     |
| 3.00   | 19.25     |
| 5.00   | 24.90     |

Figura 9. Velocidades de decantación

### 3.4.5.2 Descarga de regulación

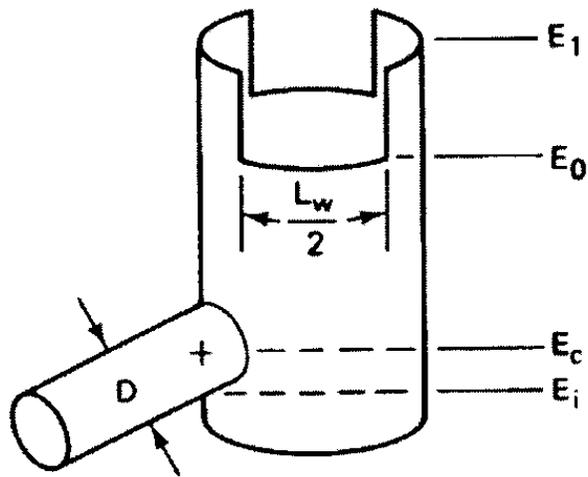
Esta estructura permitirá una descarga controlada del volumen de salida del estanque, en este proyecto se utilizará un sistema de regulación, basado en el principio de una estructura de tipo tubo con escotaduras (pero sin utilizar tuberías en las descargas), que funciona como se describe a continuación:

Este tipo de estructura vertedora se ilustra en la Figura 9, y en ella su diámetro se adopta de 2 a 3 veces el del conducto de descarga; pudiéndose utilizar tubo corrugado para dicho tubo vertical. Lógicamente la elevación de la cresta vertedora ( $E_0$ ) corresponderá con la cota que define el volumen para usos recreativos La elevación  $E_1$  es la cota que marca la capacidad total del estanque de detención, es decir, la suma del volumen para almacenamiento temporal y para usos recreativos. Por último, las cotas  $E_c$  y  $E$ , son respectivamente, los niveles de la descarga y del piso de la tubería de descarga en el *tubo vertical con escotaduras*. Su longitud de cresta ( $L_n$ ) se obtiene con la ecuación que se muestra abajo, para el gasto de descarga previo al desarrollo urbano.

$$Q_v = 1.656 \cdot L_n \cdot h_p^{1.5}$$

Donde:

La longitud de cresta necesaria ( $L_n$ ), que representa el ancho de la escotadura del tubo de descarga que trabaja como vertedor de flujo controlado, y será función de la carga permitida ( $h_p$ ) que a su vez, su valor máximo será hasta llegar al nivel del vertedor de descarga libre, al final el diámetro requerido será función del  $L_n$  seleccionado; todo esto de acuerdo al esquema siguiente:



con escotaduras o vertedores

Figura 10. Descarga de regulación

Para la aplicación en nuestro proyecto en particular, se usará un coeficiente de descarga de acuerdo al tipo de vertedor que se decida utilizar en el diseño.

### 3.4.5.3 Vertedor

En el caso de descargas a través de tuberías, es necesario realizar otra revisión después de la descarga controlada, por lo cual todo el gasto de seguridad del estanque debe ser evacuado por el vertedor de emergencia, el cual se ubica en la cota correspondiente el borde del tubo perforado, o con escotaduras, según sea el caso, más su carga de funcionamiento. En nuestro caso, que se van a utilizar descargas por medio de vertedores y canales abiertos, es menos probable que el vertedor de regulación se obstruya, completamente. Por lo que se diseñarán los vertedores de emergencia con los resultados del tránsito de la avenida de diseño en el vaso o sistema de vasos.

El diseño se hará con la fórmula de Francis:

$$Q=C.L.H^{3/2}$$

Fórmula 16. Fórmula de Francis

Donde:

$Q$  = Gasto de diseño,  $m^3/s$ .

$C$  = Coeficiente del vertedor, tipo lavadero, y descarga directa  $C=1.45$ , cimacio  $C= 2.0$ .

$L$  = Longitud de la cresta, m.

$H$  = Carga de diseño, m.

Después de haber calculado previamente la avenida de diseño, existen dos variables que influyen para la selección de la longitud de la cresta vertedora.

1. Si tiene restricción topográfica (no hay vaso suficiente), se propone la carga y se determina la longitud:

$$L=Q/(C \cdot H^{3/2})$$

*Fórmula 17. Fórmula de Francis*

2. Si tiene restricción hidrológica (no hay agua suficiente), se propone la longitud y determina la carga:

$$H=(Q/C \cdot L)^{2/3}$$

*Fórmula 18. Fórmula de Francis*

Y la velocidad de descarga será:

$$V = \frac{Q}{A}$$

*Fórmula 19. Velocidad de descarga*

### **3.5 Análisis de resultados**

#### **3.5.1 Factibilidad**

Sabiendo de antemano que el proyecto arquitectónico considera ya algunos cuerpos de agua, los cuales se pretenden utilizar con fines de esparcimiento, se planteó realizar el presente proyecto cuyo diseño tiene como objetivo la función reguladora, el almacenamiento del agua de lluvia para ser utilizada como alternativa de riego y de manera indirecta promover la proliferación de nueva vegetación debido a las condiciones que se generarán.

#### **3.5.2 Recopilación y análisis de información**

##### **3.5.2.1 Topográfica**

Se logró reunir la siguiente información topográfica de la cuenca:

- Curvas de nivel a cada 20cm.
- Localización de cauces existentes.
- Triangulaciones en un 80% de la cuenca aproximadamente.

##### **3.5.2.2 Arquitectónica**

Se obtuvo la actualización más reciente del proyecto arquitectónico que contiene básicamente la siguiente información:

- Arquitectónico de todas las áreas destinadas a diferentes usos que serán parte del nuevo proyecto como; un foro al aire libre, un restaurant, nuevos andadores, entre otros, incluyendo los materiales que tentativamente se utilizarán para su construcción.
- Localización de tres cuerpos de agua

- Propuesta de nuevos afluentes y puntos de descarga de los mismos en los cuerpos de agua.

### 3.5.2.3 Precipitaciones

De registros de la estación de CONAGUA más cercana a la cuenca en estudio (a un costado de la presa derivadora en Culiacán Sinaloa se obtuvo la información de las precipitaciones máximas anuales acumulada a 24 horas que incluyen registros del año 1956 a 2015.

| <b>Registros de lluvias máximas en 24 h en la estación Culiacán, CONAGUA, Ubicada a un costado en la presa derivadora</b> |            |                           |
|---|------------|---------------------------|
| <b>No.</b>  | <b>Año</b> | <b>Precipitación (mm)</b> |
| 1   | 1956       | 42.00                     |
| 2   | 1957       | 51.70                     |
| 3   | 1958       | 89.50                     |
| 4   | 1959       | 51.30                     |
| 5   | 1960       | 64.80                     |
| 6   | 1961       | 58.70                     |
| 7   | 1962       | 60.10                     |
| 8   | 1963       | 96.00                     |
| 9   | 1964       | 48.60                     |
| 10  | 1965       | 70.80                     |
| 11  | 1966       | 109.70                    |
| 12  | 1967       | 98.30                     |
| 13  | 1968       | 66.00                     |
| 14  | 1969       | 49.50                     |
| 15  | 1970       | 88.00                     |
| 16  | 1971       | 120.00                    |
| 17  | 1972       | 86.00                     |
| 18  | 1973       | 56.30                     |
| 19  | 1974       | 112.50                    |

|    |      |        |
|----|------|--------|
| 20 | 1975 | 63.60  |
| 21 | 1976 | 76.50  |
| 22 | 1977 | 70.80  |
| 23 | 1978 | 48.80  |
| 24 | 1979 | 120.00 |
| 25 | 1980 | 172.50 |
| 26 | 1981 | 47.00  |
| 27 | 1982 | 68.40  |
| 28 | 1983 | 103.50 |
| 29 | 1984 | 140.00 |
| 30 | 1985 | 78.80  |
| 31 | 1986 | 82.00  |
| 32 | 1987 | 114.50 |
| 33 | 1988 | 88.50  |
| 34 | 1989 | 85.00  |
| 35 | 1990 | 83.50  |
| 36 | 1991 | 80.00  |
| 37 | 1992 | 60.00  |
| 38 | 1993 | 93.00  |
| 39 | 1994 | 75.00  |
| 40 | 1995 | 68.00  |
| 41 | 1996 | 134.00 |
| 42 | 1997 | 53.00  |
| 43 | 1998 | 45.50  |
| 44 | 1999 | 60.00  |
| 45 | 2000 | 55.50  |
| 46 | 2001 | 56.00  |
| 47 | 2002 | 117.50 |
| 48 | 2003 | 81.00  |

|    |      |        |
|----|------|--------|
| 49 | 2004 | 152.20 |
| 50 | 2005 | 44.50  |
| 51 | 2006 | 113.50 |
| 52 | 2007 | 92.60  |
| 53 | 2008 | 129.00 |
| 54 | 2009 | 60.00  |
| 55 | 2010 | 66.80  |
| 56 | 2011 | 53.70  |
| 57 | 2012 | 69.30  |
| 58 | 2013 | 258.00 |
| 59 | 2014 | 76.00  |
| 60 | 2015 | 84.00  |

*Tabla 8. Registros de lluvias máximas en 24 h en la estación Culiacán, Ubicada a un costado en la presa derivadora*

| n  | Año  | Precipitación |
|----|------|---------------|
| 1  | 1995 | 69.9          |
| 2  | 1996 | 87.7          |
| 3  | 1997 | 58.2          |
| 4  | 1998 | 84.3          |
| 5  | 1999 | 69.6          |
| 6  | 2000 | 103           |
| 7  | 2001 | 56            |
| 8  | 2002 | 101.4         |
| 9  | 2003 | 60.2          |
| 10 | 2004 | 152.8         |
| 11 | 2005 | 57.8          |
| 12 | 2006 | 111.3         |
| 13 | 2007 | 82.1          |
| 14 | 2008 | 72.9          |
| 15 | 2009 | 77.4          |
| 16 | 2010 | 41.2          |
| 17 | 2011 | 59.5          |
| 18 | 2012 | 51.6          |
| 19 | 2013 | 250.3         |
| 20 | 2014 | 71            |
| 21 | 2015 | 80.3          |
| 22 | 2016 | 54.5          |
| 23 | 2017 | 55.4          |

Tabla 9. Estación de Escuela de Biología

#### 3.5.2.4 Suelos

Se obtuvo un estudio de mecánica de suelos que describe que el estrato superficial de espesor de 1-1.3m es arcilla con 94% de finos clasificada por el S.U.C.S como (CH), que en estado húmedo es altamente impermeable. Por otro lado, el segundo estrato encontrado una roca intemperizada (Pórfido basáltico) de color gris con clasificación según S.U.C.S como (GP) con resistencia a la compresión simple de 113 kg/cm<sup>2</sup>, que es muy impermeable.

La información anterior se respalda con algunos sondeos que se hicieron en diferentes puntos del Parque Ecológico, donde podemos ver claramente estos estratos.

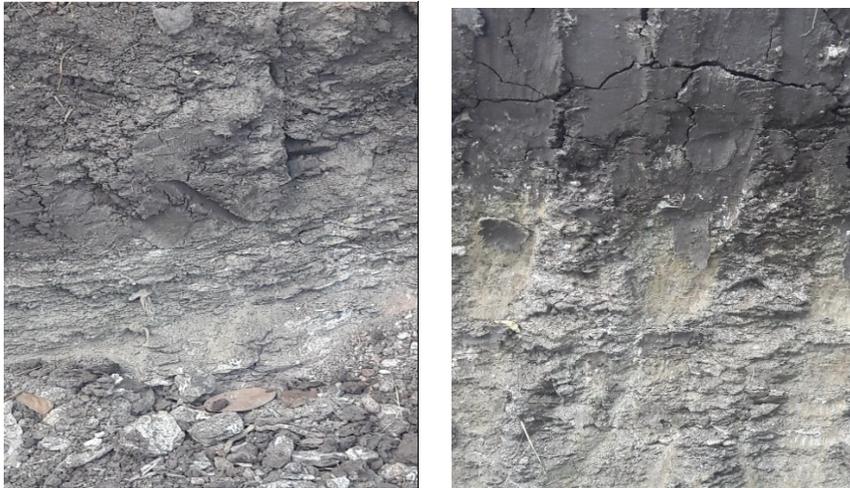


Figura 11. Estratos de suelo en parque ecológico

Otro dato importante que se encontró en las visitas de campo fue que posterior a la ocurrencia de cada lluvia, el agua permanece durante varios días contenida por los bordos que son utilizados actualmente para el sistema de riego por inundación. También se observaron escurrimientos por largos periodos hacia la calle.



Figura 12. Escurrimientos prolongados

Con todo esto se concluye que los tipos de suelo dentro de la cuenca son altamente impermeables, lo que descarta proponer alguna técnica de infiltración como estrategia adicional para el aprovechamiento del agua de lluvia, lo cual se tenía pensado inicialmente para este proyecto. Además esta información es fundamental para la estimación del coeficiente de escurrimiento en el estudio hidrológico.

### **3.5.3 Variables de ingeniería básica**

#### **3.5.3.1 Análisis de características de la cuenca**

En las visitas de campo realizadas al sitio, se recorrió todo el perímetro del Parque Ecológico, donde se establecieron los límites de la cuenca; estos comprenden justamente el límite de la manzana que contiene al parque, es decir, que todas las banquetas del perímetro tienen bombeo hacia las calles adyacentes.

De acuerdo al proyecto arquitectónico proporcionado por el departamento de proyectos de Sociedad Botánica, ya se tiene una propuesta de algunos cauces, los cuales se revisaron de

manera detallada para confirmar su factibilidad de acuerdo con las curvas de nivel del levantamiento topográfico, con la finalidad de determinar si es posible darle a esos trazos al menos la pendiente mínima para permitir los escurrimientos sin problemas significativos de azolve.

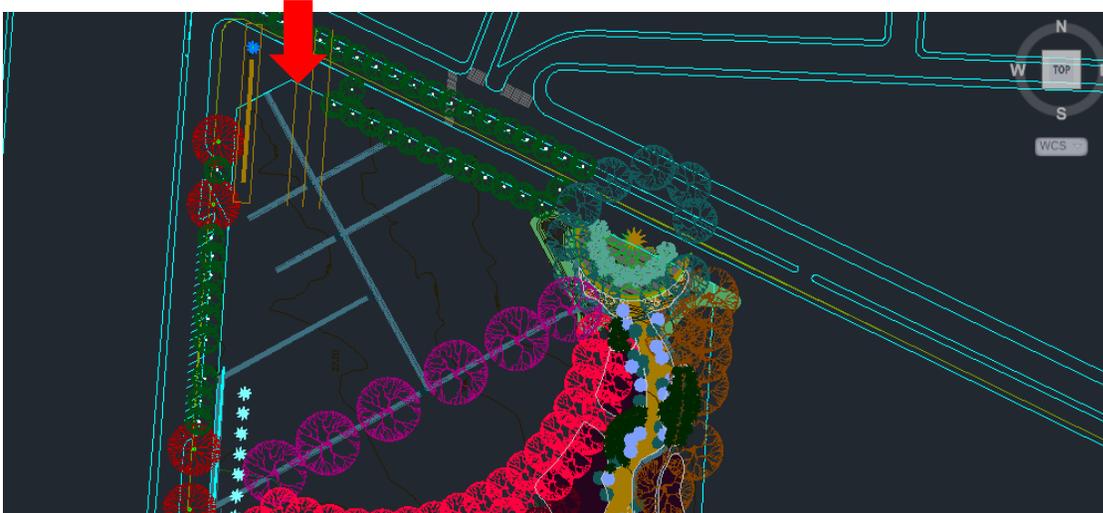


Figura 13. Límites de cuenca

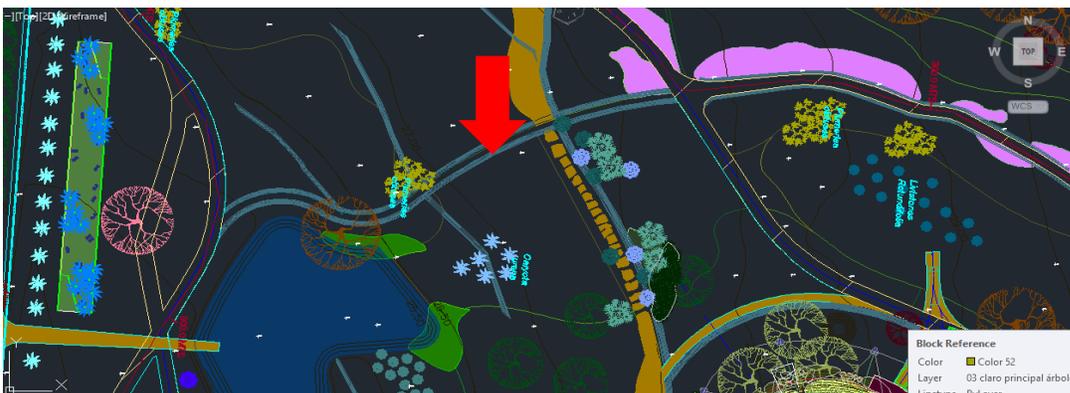


Figura 14. Cauces propuestos

Como resultado del análisis anterior se propusieron modificaciones a los cauces propuestos y algunos cauces nuevos sujetos a las condiciones descritas a continuación.

La cuenca principal se dividió en 4 sub-cuencas, dentro de las que se analizarán tres cauces por cada una con el objetivo de determinar el máximo tiempo de concentración para la aplicación del método racional en cada una de ellas. Por restricción de niveles y dimensiones de la cuenca, el agua se captará en tres estanques de dimensiones proporcionales al tamaño de sus áreas de aportación, cuyas características se presentan a continuación:

| Sub-cuenca   | Area (m2) | No de cauces | Almacenamiento (m2) |
|--------------|-----------|--------------|---------------------|
| Sub-cuenca 1 | 37004     | 3            | 1008                |
| Sub-cuenca 2 | 104102    | 3            | 11726               |
| Sub-cuenca 3 | 69128     | 3            |                     |
| Sub-cuenca 4 | 29235     | 3            | 3953                |

Tabla 10 Subcuencas



Figura 15. Nuevos cauces

La pendiente media de los cauces analizados se determinó con la fórmula de Taylor-Schwarz, como se mencionó en la metodología, (ver anexo A). El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- 1- Utilizando el software AutoCAD se trazaron los ejes de los cauces basándose en las curvas de nivel e infraestructura existente, incluyendo cauces existentes y propuestos en el proyecto arquitectónico.
- 2- Se dibujó el perfil de terreno utilizando CivilCAD a escala horizontal de 1:1000 y vertical de 1:100.
- 3- Obtenidos los perfiles en CivilCAD, se utilizaron para trazar las rasantes en AutoCAD conservando pendientes mínimas y procurando que se requiera el mínimo movimiento de tierras ya que son áreas con vegetación existente.

Nota: el procedimiento anterior se utilizó dentro de las áreas donde existen triangulaciones, los trazos de cauces que se salen de estas áreas se construyó el perfil basándose en las curvas de nivel.

### 3.5.3.2 Coeficiente de escurrimiento

Para estimar el coeficiente de escurrimiento se utilizaron las dos tablas descritas en la metodología del libro de Campos Aranda “introducción a la Hidrología Urbana”, sin embargo, para las áreas de pastizal se tomó un coeficiente de .4 aunque el máximo recomendado para pastizal en suelo arcilloso es de 0.45. Estas consideraciones se hicieron, tomando en cuenta que el estrato de arcilla es relativamente delgado (aproximadamente 1m) y esta sobre un estrato de roca intemperizada muy compacta descrita en el estudio de mecánica de suelos y observada en los sondeos con pozos a cielo abierto realizados con ese fin.

A continuación se presentan ordenados en tablas los cálculos para determinar los coeficientes de escurrimiento de cada una de las sub-cuencas, considerando de acuerdo a las tablas mencionadas anteriormente un coeficiente ponderado para cada tipo de cobertura dentro de cada área.

| <b>Cálculo de coeficientes de escurrimiento</b> |           |                |                 |
|---|-----------|----------------|-----------------|
| <b>Sub-cuenca 1</b>                             |           |                |                 |
| <b>Aarea (m2)</b>                               | 37004.00  |                |                 |
| Coberura  | área (m2) | Coeficiente c  | a*c             |
| Sendero   | 1360.00   | 0.85           | 1156.00         |
| Plaza bismarkeas                                | 713.00    | 0.9            | 641.70          |
| Andador   | 1358.80   | 0.6            | 815.28          |
| Areas de pasto                                  | 33,572    | 0.4            | 13428.88        |
|   |           | <b>Total</b>   | <b>16041.86</b> |
| <b>Coeficiente de escurrimiento</b>             |           | <b>C= 0.43</b> |                 |

| <b>Cálculo de coeficientes de escurrimiento</b> |           |                |                 |
|---|-----------|----------------|-----------------|
| <b>Sub-cuenca 2</b>                             |           |                |                 |
| <b>Aarea (m2)</b>                               | 104102.00 |                |                 |
| Coberura  | área (m2) | Coeficiente c  | a*c             |
| Sendero   | 2283.9    | 0.85           | 1941.32         |
| Centro de Ciencias                              | 41847     | 0.6            | 25108.20        |
| Plaza CU  | 1503      | 0.9            | 1352.70         |
| Areas de pasto                                  | 54,108    | 0.4            | 21643.08        |
| Andador   | 4294.4    | 0.6            | 2576.64         |
| Areas de ej.                                    | 66        | 0.8            | 52.80           |
|   |           | <b>Total</b>   | <b>52674.74</b> |
| <b>Coeficiente de escurrimiento</b>             |           | <b>C= 0.51</b> |                 |

| <b>Cálculo de coeficientes de escurrimiento</b> |               |                |          |
|---|---------------|----------------|----------|
| <b>Sub-cuenca 3</b>                             |               |                |          |
| <b>Aarea (m2)</b>                               | <b>69,128</b> |                |          |
| Coberura  | área (m2)     | Coeficiente c  | a*c      |
| Sendero   | 750           | 0.85           | 637.50   |
| Foro  | 3,330         | 0.6            | 1998.00  |
| Baño 1  | 91            | 0.9            | 81.90    |
| Areas de pasto                                  | 52,176        | 0.4            | 20870.56 |
| Info Box  | 910           | 0.85           | 773.50   |
| Estacionamiento                                 | 7,198         | 0.8            | 5758.40  |
| Andador RJ                                      | 745           | 0.85           | 633.25   |
| Est.de Info Box                                 | 1,166         | 0.85           | 991.10   |
| Andador   | 2629.6        | 0.6            | 1577.76  |
| Areas de ej.                                    | 132           | 0.8            | 105.60   |
|   |               | Total          | 33427.57 |
| <b>Coeficiente de escurrimiento</b>             |               | <b>C= 0.48</b> |          |

| <b>Cálculo de coeficientes de escurrimiento</b> |               |                |          |
|---|---------------|----------------|----------|
| <b>Sub-cuenca 4</b>                             |               |                |          |
| <b>Aarea (m2)</b>                               | <b>29,216</b> |                |          |
| Coberura  | área (m2)     | Coeficiente c  | a*c      |
| Sendero   | 1658          | 0.85           | 1409.30  |
| Areas de pasto                                  | 25,613        | 0.4            | 10245.04 |
| Andador RJ                                      | 1,068         | 0.85           | 907.80   |
| Andador   | 877.4         | 0.6            | 526.44   |
|   |               | Total          | 13088.58 |
| <b>Coeficiente de escurrimiento</b>             |               | <b>C= 0.45</b> |          |

Tabla 11. Cálculos para determinar los coeficientes de escurrimiento de cada una de las sub-cuencas

| <b>Resumen de coeficientes de escurrimientos para Tr menor o igual a 10 años</b> |                  |                      |                            |  |
|--|------------------|----------------------|----------------------------|--|
| <b>Sub-cuenca</b>  | <b>Area (m2)</b> | <b>Coeficiente c</b> | <b>Almacenamiento (m2)</b> |  |
| Sub-cuenca 1   | 37004            | 0.43                 | 1008                       |  |
| Sub-cuenca 2   | 104102           | 0.51                 | 11726                      |  |
| Sub-cuenca 3   | 69128            | 0.48                 |                            |  |
| Sub-cuenca 4   | 29235            | 0.45                 | 3953                       |  |

Tabla 12. Coeficientes calculados en estas tablas corresponden a periodos de retorno menor o igual a 10 años

Los coeficientes calculados en estas tablas corresponden a periodos de retorno menor o igual a 10 años, para mayores periodos de retorno, los coeficientes serán afectados por los factores de corrección recomendados también por Campos Aranda en la misma bibliografía.

| Coeficientes de escurrimientos para Tr mayor a 10 años |                    |                    |                    |                     |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Factor de ajuste                                       |                    | 1.1                | 1.2                | 1.25                |
| Sub-cuenca   | Coef c, Tr<=10años | coef c Tr= 25 años | coef c Tr= 50 años | coef c Tr= 100 años |
| Sub-cuenca 1   | 0.43               | 0.48               | 0.52               | 0.54                |
| Sub-cuenca 2   | 0.51               | 0.56               | 0.61               | 0.63                |
| Sub-cuenca 3   | 0.48               | 0.53               | 0.58               | 0.60                |
| Sub-cuenca 4   | 0.45               | 0.49               | 0.54               | 0.56                |

Tabla 13. Coeficientes calculados en estas tablas corresponden a periodos de retorno mayor o igual a 10 años

### 3.5.3.3 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, como se ha mencionado en apartados anteriores, se determina tomando en cuenta principalmente las condiciones de cobertura y forma de la superficie donde se dan los escurrimientos. En este caso tenemos flujos sobre superficies pavimentadas, sobre terreno natural con pastizal y césped, y sobre canales naturales.

En base a lo anterior fue necesario hacer los cálculos con las tres fórmulas recomendadas por la bibliografía que más cumplen con las condiciones de nuestro proyecto, como se muestra en la siguiente tabla.

| Cálculo de tiempos de concentración de flujos sobre el terreno |       |          |           |     |      |    | Soil Conservation Service | Agencia Federal de Aviación | Kerby-Hathaway |
|--|-------|----------|-----------|-----|------|----|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| Sub-cuenca   | Cauce | Longitud | Pendiente | nr  | C    | N  | tc (min)                  | tc (min)                    | tc (min)       |
| 2  | 4A    | 340      | 0.0081    | 0.4 | 0.6  | 84 | 33.86                     | 31.83                       | 44.15          |
| 2  | 7A    | 129.42   | 0.0100    | 0.6 | 0.5  | 80 | 15.98                     | 21.94                       | 32.31          |
| 3  | 10A   | 160      | 0.0166    | 0.1 | 0.85 | 98 | 6.96                      | 8.59                        | 13.72          |

Tabla 14. Cálculo de tiempos de concentración con las tres fórmulas recomendadas por la bibliografía

De los resultados obtenidos se consideraron los del Soil Conservation Service, ya que la de la tercera columna se consideró en la revisión solo para comparar porque es más utilizada para diseño de drenajes pluviales de aeropuertos, que deben cumplir con un tiempo de concentración determinado, y en los resultados se dispara mucho de las primeras dos. Y por último, de las primeras dos, la primera (SCS) es la que más simula las condiciones de la cuenca analizada.

En la tabla que se muestra a continuación, se presentan los cálculos para los tiempos de concentración sobre canales naturales (sexta columna), a los que se le suman los resultados obtenidos del SCS obteniendo un total para cada cauce (octava columna), y en la última columna aparece el tiempo de concentración más alto para cada sub-cuenca que será utilizado en la fórmula racional para obtener los gastos de diseño.

| Tiempos de concentración Fórmula de Kirprich |       |          |           |         |          | Soil Conservation Service | Total tc (min) | tc (min) por sub-cuenca |
|--|-------|----------|-----------|---------|----------|---------------------------|----------------|-------------------------|
| SC   | Cauce | Longitud | Pendiente | tc (hr) | tc (min) | tc (min)                  |                |                         |
| 1  | 1     | 204      | 0.0042    | 0.16    | 9.66     |                           | 9.66           | 9.66                    |
|  | 2     | 224      | 0.0078    | 0.14    | 8.16     |                           | 8.16           |                         |
|  | 3     | 242.1    | 0.0132    | 0.12    | 7.07     |                           | 7.07           |                         |
| 2  | 4     | 441.8    | 0.0071    | 0.24    | 14.27    |                           | 14.27          | 45.54                   |
|  | 4B    | 309.26   | 0.0058    | 0.19    | 11.68    | 33.86                     | 45.54          |                         |
|  | 5     | 490.6    | 0.0050    | 0.29    | 17.68    |                           | 17.68          |                         |
|  | 7B    | 280      | 0.0123    | 0.14    | 8.12     | 15.98                     | 24.11          |                         |
| 3  | 8     | 565.2    | 0.0077    | 0.28    | 16.75    |                           | 16.75          | 16.75                   |
|  | 9     | 411.8    | 0.0108    | 0.19    | 11.50    |                           | 11.50          |                         |
|  | 10B   | 205      | 0.0070    | 0.13    | 7.94     | 6.96                      | 14.90          |                         |
| 4  | 6     | 320.7    | 0.0064    | 0.19    | 11.58    |                           | 11.58          | 11.58                   |
|  | 11    | 260.7    | 0.0079    | 0.15    | 9.10     |                           | 9.10           |                         |
|  | 12    | 228.1    | 0.0086    | 0.13    | 7.95     |                           | 7.95           |                         |

Tabla 15. Cálculos para los tiempos de concentración sobre canales naturales

Los resultados finales para realizar los cálculos son los siguientes:

| Resumen de tiempos de concentración por subcuenca |       |          |
|---|-------|----------|
| SC  | Cauce | tc (min) |
| 1   | 1     | 9.66     |
| 2   | 4A-4B | 45.54    |
| 3   | 8     | 16.75    |
| 4   | 6     | 11.58    |

Tabla 16. Resumen de tiempos de concentración

### 3.5.3.4 Periodo de retorno

Para la asignar los periodos de retorno se tomaron los criterios de *Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos*, ref. 12, que nos dice que para dimensionar los volúmenes de la laguna y los elementos de captación, entrada, vaciamiento, descarga y vertido hacia aguas abajo es necesario conocer las propiedades de las crecidas que llegan a la laguna y seleccionar lluvias para diferentes periodos de retorno, como se describe a continuación:

**Volumen de tormentas menores.** Este volumen es el almacenamiento bajo el nivel del umbral de la cámara de descarga, desde el fondo del estanque. Se calcula para almacenar el volumen generado por crecidas provocadas por tormentas menores, del orden de 2 a 5 años de periodo de retorno, con la cuenca totalmente desarrollada. En general puede ser del 50 al 80% del volumen principal del estanque.

**Volumen de tormentas frecuentes.** En el caso de estanques diseñados con dos niveles, con un volumen para tormentas frecuentes, este se estima para almacenar del 10 al 25% del volumen principal.

**Volumen de crecidas mayores.** Corresponde al volumen máximo que puede almacenar el estanque en condiciones extraordinarias, cuando recibe una crecida provocada por tormentas mayores, del orden de 100 a 200 años de periodo de retorno. Es el volumen hasta el nivel de los muros, considerando una revancha de seguridad.

Se recomienda emplear las máximas de entre las siguientes:

Si hacia aguas abajo existe un sistema de drenaje, natural o artificial, desarrollado:

T=5 años para las lluvias menores.

T=10 años para las lluvias medianas

T=100 años para las lluvias grandes

Si hacia aguas abajo no existe una red de drenaje desarrollada:

T=5 años para las lluvias menores

T=10 años para las lluvias medianas

T=200 años para las lluvias grandes

Para el caso de este proyecto se revisará en el dimensionamiento de la laguna, la posibilidad de incrementar los periodos de retorno de las lluvias medianas y grandes para darle mayor seguridad hidrológica.

### **3.5.4 Hidrología (Estudios de ingeniería básica)**

#### **3.5.4.1 Pruebas de homogeneidad de datos**

En esta sección se aplican dos pruebas de homogeneidad (Test de Mann-Kendall y Test de Helmer) a los datos de las dos estaciones climatológicas más cercanas a la cenca en estudio, los cuales se ordenan en las tablas que se muestran a continuación.

**Estación Culiacán, Ubicada a un costado en la presa derivadora.**

#### **Test de Mann-Kendall**

$$V = \frac{S - 1}{\sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}}}$$
$$S = T - I$$

*Fórmula 20. Test de Mann-Kendall*

$$T = \sum_1^{n-1} si$$

$$I = \sum_1^{n-1} ti$$

**Tabla 3.17.**  $V_{crit}$  para diferentes niveles de significación  $\alpha$

|              |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\alpha$     | 0,005 | 0,010 | 0,025 | 0,050 | 0,100 |
| $ V_{crit} $ | 2,58  | 2,33  | 1,96  | 1,64  | 1,28  |

|        |                |
|--------|----------------|
| I=     | <b>792.00</b>  |
| T=     | <b>973.00</b>  |
| S=T-I= | <b>181.00</b>  |
| V=     | <b>1.14803</b> |

Se escoge un nivel de significación de 5%, se tiene V entre -1.64 y 1.64. Como el valor de  $V = 1.14803$  está dentro de -1.64 y 1.64 la hipótesis es válida, por lo tanto los datos son homogéneos.

### Test de Helmert

Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo, se crea una secuencia **S**, en contraste, si una desviación es seguida por otra de signo contrario, se registrará un cambio **C**.

$$S - C = \pm \sqrt{n-1} \quad \text{Fórmula 21. Test de Helmert}$$

| PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD |    |               |       |       |      |    |             |               |               |
|-------------------------|----|---------------|-------|-------|------|----|-------------|---------------|---------------|
| Test de Mann-Kendall    |    |               |       |       |      |    |             |               |               |
| Año                     | n  | Precipitación | si    | ti    |      |    |             |               |               |
| 1956                    | 1  | 42.00         | 59.00 | 0.00  | 1986 | 31 | 82.00       | 13.00         | 16.00         |
| 1957                    | 2  | 51.70         | 51.00 | 7.00  | 1987 | 32 | 114.50      | 5.00          | 23.00         |
| 1958                    | 3  | 89.50         | 18.00 | 39.00 | 1988 | 33 | 88.50       | 8.00          | 19.00         |
| 1959                    | 4  | 51.30         | 50.00 | 6.00  | 1989 | 34 | 85.00       | 8.00          | 18.00         |
| 1960                    | 5  | 64.80         | 38.00 | 17.00 | 1990 | 35 | 83.50       | 9.00          | 16.00         |
| 1961                    | 6  | 58.70         | 43.00 | 11.00 | 1991 | 36 | 80.00       | 10.00         | 14.00         |
| 1962                    | 7  | 60.10         | 39.00 | 14.00 | 1992 | 37 | 60.00       | 15.00         | 6.00          |
| 1963                    | 8  | 96.00         | 15.00 | 37.00 | 1993 | 38 | 93.00       | 6.00          | 16.00         |
| 1964                    | 9  | 48.60         | 48.00 | 3.00  | 1994 | 39 | 75.00       | 10.00         | 11.00         |
| 1965                    | 10 | 70.80         | 30.00 | 19.00 | 1995 | 40 | 68.00       | 11.00         | 9.00          |
| 1966                    | 11 | 109.70        | 12.00 | 37.00 | 1996 | 41 | 134.00      | 2.00          | 17.00         |
| 1967                    | 12 | 98.30         | 13.00 | 35.00 | 1997 | 42 | 53.00       | 16.00         | 2.00          |
| 1968                    | 13 | 66.00         | 33.00 | 14.00 | 1998 | 43 | 45.50       | 16.00         | 1.00          |
| 1969                    | 14 | 49.50         | 42.00 | 4.00  | 1999 | 44 | 60.00       | 11.00         | 4.00          |
| 1970                    | 15 | 88.00         | 16.00 | 29.00 | 2000 | 45 | 55.50       | 13.00         | 2.00          |
| 1971                    | 16 | 120.00        | 6.00  | 37.00 | 2001 | 46 | 56.00       | 12.00         | 2.00          |
| 1972                    | 17 | 86.00         | 15.00 | 28.00 | 2002 | 47 | 117.50      | 3.00          | 10.00         |
| 1973                    | 18 | 56.30         | 34.00 | 8.00  | 2003 | 48 | 81.00       | 6.00          | 6.00          |
| 1974                    | 19 | 112.50        | 10.00 | 31.00 | 2004 | 49 | 152.20      | 1.00          | 10.00         |
| 1975                    | 20 | 63.60         | 29.00 | 11.00 | 2005 | 50 | 44.50       | 10.00         | 0.00          |
| 1976                    | 21 | 76.50         | 21.00 | 18.00 | 2006 | 51 | 113.50      | 2.00          | 7.00          |
| 1977                    | 22 | 70.80         | 23.00 | 15.00 | 2007 | 52 | 92.60       | 2.00          | 6.00          |
| 1978                    | 23 | 48.80         | 34.00 | 3.00  | 2008 | 53 | 129.00      | 1.00          | 6.00          |
| 1979                    | 24 | 120.00        | 6.00  | 30.00 | 2009 | 54 | 60.00       | 5.00          | 1.00          |
| 1980                    | 25 | 172.50        | 1.00  | 34.00 | 2010 | 55 | 66.80       | 4.00          | 1.00          |
| 1981                    | 26 | 47.00         | 32.00 | 2.00  | 2011 | 56 | 53.70       | 4.00          | 0.00          |
| 1982                    | 27 | 68.40         | 22.00 | 11.00 | 2012 | 57 | 69.30       | 3.00          | 0.00          |
| 1983                    | 28 | 103.50        | 8.00  | 24.00 | 2013 | 58 | 258.00      | 0.00          | 2.00          |
| 1984                    | 29 | 140.00        | 2.00  | 29.00 | 2014 | 59 | 76.00       | 1.00          | 0.00          |
| 1985                    | 30 | 78.80         | 16.00 | 14.00 | 2015 | 60 | 84.00       |               |               |
|                         |    |               |       |       |      |    | <b>SUMA</b> | <b>973.00</b> | <b>792.00</b> |

Tabla 17. Test de Mann-Kendall

| PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD |            |               |              |            |
|-------------------------|------------|---------------|--------------|------------|
| Test de Helmert         |            |               |              |            |
| Año                     | n          | Precipitación | Serie        | ti         |
| 1956                    | 1          | 42.00         | -            |            |
| 1957                    | 2          | 51.70         | -            | S          |
| 1958                    | 3          | 89.50         | +            | C          |
| 1959                    | 4          | 51.30         | -            | C          |
| 1960                    | 5          | 64.80         | -            | S          |
| 1961                    | 6          | 58.70         | -            | S          |
| 1962                    | 7          | 60.10         | -            | S          |
| 1963                    | 8          | 96.00         | +            | C          |
| 1964                    | 9          | 48.60         | -            | C          |
| 1965                    | 10         | 70.80         | -            | S          |
| 1966                    | 11         | 109.70        | +            | C          |
| 1967                    | 12         | 98.30         | +            | S          |
| 1968                    | 13         | 66.00         | -            | C          |
| 1969                    | 14         | 49.50         | -            | S          |
| 1970                    | 15         | 88.00         | +            | C          |
| 1971                    | 16         | 120.00        | +            | S          |
| 1972                    | 17         | 86.00         | +            | S          |
| 1973                    | 18         | 56.30         | -            | C          |
| 1974                    | 19         | 112.50        | +            | C          |
| 1975                    | 20         | 63.60         | -            | C          |
| 1976                    | 21         | 76.50         | -            | S          |
| 1977                    | 22         | 70.80         | -            | S          |
| 1978                    | 23         | 48.80         | -            | S          |
| 1979                    | 24         | 120.00        | +            | C          |
| 1980                    | 25         | 172.50        | +            | S          |
| 1981                    | 26         | 47.00         | -            | C          |
| 1982                    | 27         | 68.40         | -            | S          |
| 1983                    | 28         | 103.50        | +            | C          |
| 1984                    | 29         | 140.00        | +            | S          |
| 1985                    | 30         | 78.80         | -            | C          |
| 1986                    | 31         | 82.00         | -            | S          |
| 1987                    | 32         | 114.50        | +            | C          |
| 1988                    | 33         | 88.50         | +            | S          |
| 1989                    | 34         | 85.00         | +            | S          |
| 1990                    | 35         | 83.50         | -            | C          |
| 1991                    | 36         | 80.00         | -            | S          |
| 1992                    | 37         | 60.00         | -            | S          |
| 1993                    | 38         | 93.00         | +            | C          |
| 1994                    | 39         | 75.00         | -            | C          |
| 1995                    | 40         | 68.00         | -            | S          |
| 1996                    | 41         | 134.00        | +            | C          |
| 1997                    | 42         | 53.00         | -            | C          |
| 1998                    | 43         | 45.50         | -            | S          |
| 1999                    | 44         | 60.00         | -            | S          |
| 2000                    | 45         | 55.50         | -            | S          |
| 2001                    | 46         | 56.00         | -            | S          |
| 2002                    | 47         | 117.50        | +            | C          |
| 2003                    | 48         | 81.00         | -            | C          |
| 2004                    | 49         | 152.20        | +            | C          |
| 2005                    | 50         | 44.50         | -            | C          |
| 2006                    | 51         | 113.50        | +            | C          |
| 2007                    | 52         | 92.60         | +            | S          |
| 2008                    | 53         | 129.00        | +            | S          |
| 2009                    | 54         | 60.00         | -            | C          |
| 2010                    | 55         | 66.80         | -            | S          |
| 2011                    | 56         | 53.70         | -            | S          |
| 2012                    | 57         | 69.30         | -            | S          |
| 2013                    | 58         | 258.00        | +            | C          |
| 2014                    | 59         | 76.00         | -            | C          |
| 2015                    | 60         | 84.00         | -            | S          |
|                         | <b>Pm=</b> | <b>84.02</b>  |              |            |
|                         |            |               | <b>S=</b>    | <b>31</b>  |
|                         |            |               | <b>C=</b>    | <b>28</b>  |
|                         |            |               | <b>S-C=</b>  | <b>3</b>   |
|                         |            |               | $\sqrt{n-1}$ | 7.68114575 |

Tabla 18. Test de Helmert

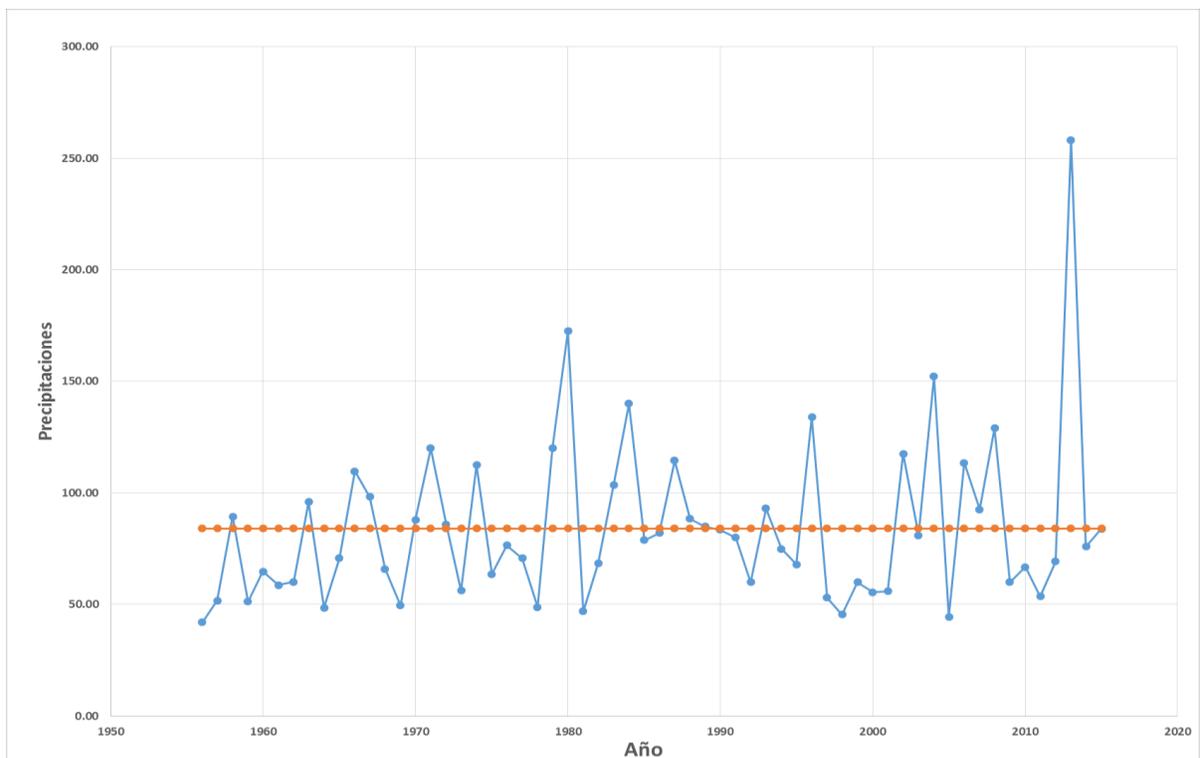


Figura 16. Test de Helmert

La diferencia entre secuencias y cambios tiene un valor de 3, que está dentro del rango de -7.68 y +7.68, por lo tanto la serie es homogénea.

### Estación de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela de Biología

| PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD |                |               |               |               |
|-------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Test de Mann-Kendall    |                |               |               |               |
| Año                     | n              | Precipitación | si            | ti            |
| 1995                    | 1              | 69.9          | 12.00         | 10.00         |
| 1996                    | 2              | 87.7          | 5.00          | 16.00         |
| 1997                    | 3              | 58.2          | 14.00         | 6.00          |
| 1998                    | 4              | 84.3          | 5.00          | 14.00         |
| 1999                    | 5              | 69.6          | 10.00         | 8.00          |
| 2000                    | 6              | 103           | 3.00          | 14.00         |
| 2001                    | 7              | 56            | 12.00         | 4.00          |
| 2002                    | 8              | 101.4         | 3.00          | 12.00         |
| 2003                    | 9              | 60.2          | 8.00          | 6.00          |
| 2004                    | 10             | 152.8         | 1.00          | 12.00         |
| 2005                    | 11             | 57.8          | 8.00          | 4.00          |
| 2006                    | 12             | 111.3         | 1.00          | 10.00         |
| 2007                    | 13             | 82.1          | 1.00          | 9.00          |
| 2008                    | 14             | 72.9          | 3.00          | 6.00          |
| 2009                    | 15             | 77.4          | 2.00          | 6.00          |
| 2010                    | 16             | 41.2          | 7.00          | 0.00          |
| 2011                    | 17             | 59.5          | 3.00          | 3.00          |
| 2012                    | 18             | 51.6          | 5.00          | 0.00          |
| 2013                    | 19             | 250.3         | 0.00          | 4.00          |
| 2014                    | 20             | 71            | 1.00          | 2.00          |
| 2015                    | 21             | 80.3          | 0.00          | 2.00          |
| 2016                    | 22             | 54.5          | 1.00          | 0.00          |
| 2017                    | 23             | 55.4          | 0.00          | 0.00          |
|                         |                | <b>SUMA</b>   | <b>105.00</b> | <b>148.00</b> |
| <b>I=</b>               | <b>148.00</b>  |               |               |               |
| <b>T=</b>               | <b>105.00</b>  |               |               |               |
| <b>S=T-I=</b>           | <b>-43.00</b>  |               |               |               |
| <b>V=</b>               | <b>-1.1621</b> |               |               |               |

Se escoge un nivel de significación de 5%, se tiene V entre -1.64 y 1.64. Como el valor de  $V = -1.1621$  está dentro de -1.64 y 1.64 la hipótesis es válida, por lo tanto los datos son homogéneos.

| PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD |            |               |              |                   |
|-------------------------|------------|---------------|--------------|-------------------|
| Test de Helmert         |            |               |              |                   |
| Año                     | n          | Precipitación | Serie        | ti                |
| 1995                    | 1          | 69.9          | -            |                   |
| 1996                    | 2          | 87.7          | +            | C                 |
| 1997                    | 3          | 58.2          | -            | C                 |
| 1998                    | 4          | 84.3          | +            | C                 |
| 1999                    | 5          | 69.6          | -            | C                 |
| 2000                    | 6          | 103           | +            | C                 |
| 2001                    | 7          | 56            | -            | C                 |
| 2002                    | 8          | 101.4         | +            | C                 |
| 2003                    | 9          | 60.2          | -            | C                 |
| 2004                    | 10         | 152.8         | +            | C                 |
| 2005                    | 11         | 57.8          | -            | C                 |
| 2006                    | 12         | 111.3         | +            | C                 |
| 2007                    | 13         | 82.1          | -            | C                 |
| 2008                    | 14         | 72.9          | -            | S                 |
| 2009                    | 15         | 77.4          | -            | S                 |
| 2010                    | 16         | 41.2          | -            | S                 |
| 2011                    | 17         | 59.5          | -            | S                 |
| 2012                    | 18         | 51.6          | -            | S                 |
| 2013                    | 19         | 250.3         | +            | C                 |
| 2014                    | 20         | 71            | -            | C                 |
| 2015                    | 21         | 80.3          | -            | S                 |
| 2016                    | 22         | 54.5          | -            | S                 |
| 2017                    | 23         | 55.4          | -            | S                 |
|                         | <b>Pm=</b> | <b>82.97</b>  |              |                   |
|                         |            |               | <b>S=</b>    | <b>8</b>          |
|                         |            |               | <b>C=</b>    | <b>14</b>         |
|                         |            |               | <b>S-C=</b>  | <b>-6</b>         |
|                         |            |               | $\sqrt{n-1}$ | <b>4.69041576</b> |

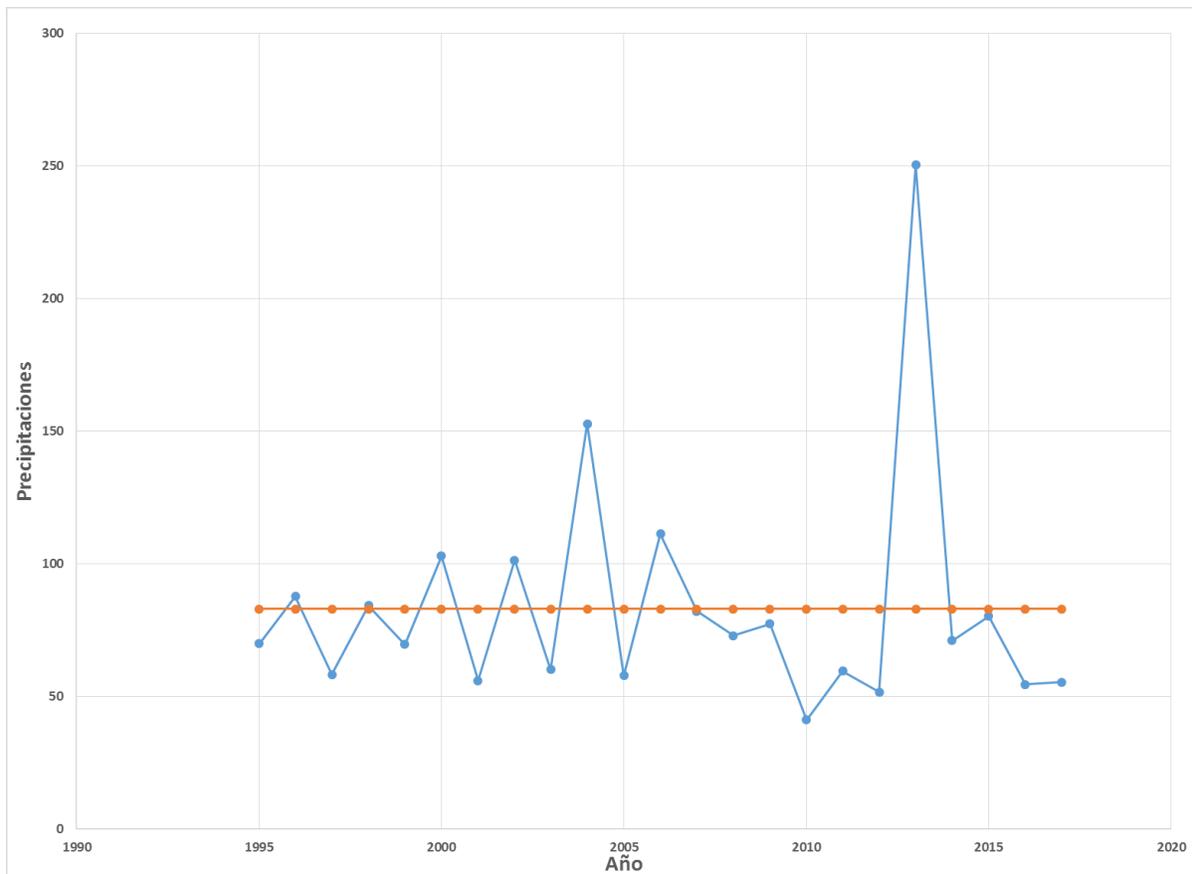


Figura 17. Test de Helmert

Para esta prueba la serie resulta no homogénea, ya que -6 se sale del rango entre -4.69 y +4.69.

Con las pruebas de homogeneidad realizadas a los datos de las dos estaciones podemos concluir que la información de la estación climatológica de CONAGUA es más confiable por dos factores importantes; el primero porque pasa las dos pruebas de homogeneidad y el segundo porque la serie consta de un mayor número de datos. En base a lo anterior estaremos haciendo el análisis estadístico a los datos de la estación de la Escuela de Biología solo con motivos de comparación.

### 3.5.4.2 Ajuste de funciones de probabilidad

Iniciamos el estudio hidrológico con el análisis de la información de las estaciones a las que se les aplicó las pruebas de homogeneidad, aunque aparentemente es más confiable la información de la estación de CONAGUA, las dos fueron analizadas para efectos de comparación.

Para el análisis de las precipitaciones máximas diarias anuales se ajustaron siete funciones de distribución de probabilidad utilizando el software **Hidroesta**, en el Anexo B están los

reportes completos incluyendo las gráficas de las funciones de distribución ajustadas y en este apartado se presentan los resúmenes de dichos ajustes.

Todos los ajustes se hicieron para una significancia de 5% y en el resumen se presentan solo las funciones que se ajustaron a los datos.



Figura 18. Software especializado en hidrología estadística HidroEsta

### A) Estación de CONAGUA

Para esta serie de datos se ajustaron siete funciones que podemos ver en la tabla siguiente, los detalles se muestran en el anexo B.

| Bondad de ajuste, Smirnov Kolmogorov. |                |                |
|---------------------------------------|----------------|----------------|
| Función                               | Delta tabular. | Delta teorico. |
| LogNormal3P                           | 0.176          | 0.045          |
| LogPearson III                        | 0.176          | 0.053          |
| LogGumbel                             | 0.176          | 0.059          |
| LogNormal2P                           | 0.176          | 0.069          |
| Gumbel                                | 0.176          | 0.076          |
| Gamma 2P                              | 0.176          | 0.080          |
| Normal                                | 0.176          | 0.130          |

Tabla 19. Bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov

Como se muestra en la tabla, todas las funciones tienen un delta teórico menor al tabular para una significancia de 5%, sin embargo se realizó una revisión detallada de los gráficos de las funciones de distribución y de altura de precipitación-periodo de retorno para las funciones con menor delta teórico, o con el mejor ajuste. A continuación se muestra un análisis del gráfico de precipitación-periodo de retorno para las dos estaciones climatológicas, ya que

gráficamente, es más claro el comportamiento de las funciones para detectar tendencias y valores sobreestimados o subestimados de las precipitaciones por la función ajustada.

| N. Orden | Tr      | hp <sub>i</sub> | GUMBEL | LOGPEARS3 | LOGGUMB | LOG<br>NORMAL3 | Diferencia de las funciones respecto a los datos |               |               |               |
|----------|---------|-----------------|--------|-----------|---------|----------------|--|---------------|---------------|---------------|
|          |         |                 |        |           |         |                |  |               |               |               |
| 1        | 61.0000 | 258.00          | 185.74 | 199.1     | 217.47  | 206.46         | -72.26   | -58.90        | -40.53        | -51.54        |
| 2        | 30.5000 | 175.20          | 165.51 | 169.83    | 177.34  | 174.96         | -9.69  | -5.37         | 2.14          | -0.24         |
| 3        | 20.3333 | 152.20          | 153.57 | 153.98    | 157.22  | 157.82         | 1.37   | 1.78          | 5.02          | 5.62          |
| 4        | 15.2500 | 140.00          | 145.03 | 143.25    | 144.25  | 146.21         | 5.03   | 3.25          | 4.25          | 6.21          |
| 5        | 12.2000 | 134.00          | 138.34 | 135.19    | 134.84  | 137.49         | 4.34   | 1.19          | 0.84          | 3.49          |
| 6        | 10.1667 | 129.00          | 132.82 | 128.76    | 127.55  | 130.54         | 3.82   | -0.24         | -1.45         | 1.54          |
| 7        | 8.7143  | 120.00          | 128.12 | 123.44    | 121.64  | 124.79         | 8.12   | 3.44          | 1.64          | 4.79          |
| 8        | 7.6250  | 120.00          | 124.00 | 118.88    | 116.69  | 119.89         | 4.00   | -1.12         | -3.31         | -0.11         |
| 9        | 6.7778  | 117.50          | 120.34 | 114.91    | 112.46  | 115.63         | 2.84   | -2.59         | -5.04         | -1.87         |
| 10       | 6.1000  | 114.50          | 117.03 | 111.4     | 108.77  | 111.86         | 2.53   | -3.10         | -5.73         | -2.64         |
| 11       | 5.5455  | 113.50          | 114.00 | 108.25    | 105.5   | 108.5          | 0.50   | -5.25         | -8.00         | -5.00         |
| 12       | 5.0833  | 112.50          | 111.21 | 105.39    | 102.57  | 105.45         | -1.29  | -7.11         | -9.93         | -7.05         |
| 13       | 4.6923  | 109.70          | 108.62 | 102.77    | 99.92   | 102.67         | -1.08  | -6.93         | -9.78         | -7.03         |
| 14       | 4.3571  | 103.50          | 106.19 | 100.35    | 97.51   | 100.11         | 2.69   | -3.15         | -5.99         | -3.39         |
| 15       | 4.0667  | 98.30           | 103.90 | 98.11     | 95.29   | 97.74          | 5.60   | -0.19         | -3.01         | -0.56         |
| 16       | 3.8125  | 96.00           | 101.74 | 96.02     | 93.23   | 95.54          | 5.74   | 0.02          | -2.77         | -0.46         |
| 17       | 3.5882  | 93.00           | 99.69  | 94.06     | 91.32   | 93.48          | 6.69   | 1.06          | -1.68         | 0.48          |
| 18       | 3.3889  | 92.60           | 97.72  | 92.21     | 89.53   | 91.54          | 5.12   | -0.39         | -3.07         | -1.06         |
| 19       | 3.2105  | 89.50           | 95.85  | 90.46     | 87.85   | 89.71          | 6.35   | 0.96          | -1.65         | 0.21          |
| 20       | 3.0500  | 88.50           | 94.04  | 88.79     | 86.27   | 87.98          | 5.54   | 0.29          | -2.23         | -0.52         |
| 21       | 2.9048  | 88.00           | 92.30  | 87.21     | 84.77   | 86.34          | 4.30   | -0.79         | -3.23         | -1.66         |
| 22       | 2.7727  | 86.00           | 90.62  | 85.7      | 83.34   | 84.78          | 4.62   | -0.30         | -2.66         | -1.22         |
| 23       | 2.6522  | 85.00           | 88.99  | 84.24     | 81.99   | 83.28          | 3.99   | -0.76         | -3.01         | -1.72         |
| 24       | 2.5417  | 84.00           | 87.41  | 82.85     | 80.69   | 81.85          | 3.41   | -1.15         | -3.31         | -2.15         |
| 25       | 2.4400  | 83.50           | 85.87  | 81.51     | 79.45   | 80.48          | 2.37   | -1.99         | -4.05         | -3.02         |
| 26       | 2.3462  | 82.00           | 84.37  | 80.21     | 78.25   | 79.16          | 2.37   | -1.79         | -3.75         | -2.84         |
| 27       | 2.2593  | 81.00           | 82.91  | 78.95     | 77.1    | 77.89          | 1.91   | -2.05         | -3.90         | -3.11         |
| 28       | 2.1786  | 80.00           | 81.47  | 77.74     | 76      | 76.66          | 1.47   | -2.26         | -4.00         | -3.34         |
| 29       | 2.1034  | 78.80           | 80.06  | 76.55     | 74.92   | 75.47          | 1.26   | -2.25         | -3.88         | -3.33         |
| 30       | 2.0333  | 76.50           | 78.67  | 75.4      | 73.88   | 74.32          | 2.17   | -1.10         | -2.62         | -2.18         |
| 31       | 1.9677  | 76.00           | 77.31  | 74.28     | 72.87   | 73.2           | 1.31   | -1.72         | -3.13         | -2.80         |
| 32       | 1.9063  | 75.00           | 75.96  | 73.19     | 71.89   | 72.11          | 0.96   | -1.81         | -3.11         | -2.89         |
| 33       | 1.8485  | 70.80           | 74.63  | 72.12     | 70.93   | 71.05          | 3.83   | 1.32          | 0.13          | 0.25          |
| 34       | 1.7941  | 70.80           | 73.32  | 71.06     | 70      | 70.01          | 2.52   | 0.26          | -0.80         | -0.79         |
| 35       | 1.7429  | 69.30           | 72.01  | 70.03     | 69.08   | 69             | 2.71   | 0.73          | -0.22         | -0.30         |
| 36       | 1.6944  | 68.40           | 70.72  | 69.02     | 68.19   | 68             | 2.32   | 0.62          | -0.21         | -0.40         |
| 37       | 1.6486  | 68.00           | 69.43  | 68.02     | 67.3    | 67.02          | 1.43   | 0.02          | -0.70         | -0.98         |
| 38       | 1.6053  | 66.80           | 68.14  | 67.03     | 66.44   | 66.07          | 1.34   | 0.23          | -0.36         | -0.73         |
| 39       | 1.5641  | 66.00           | 66.85  | 66.06     | 65.58   | 65.12          | 0.85   | 0.06          | -0.42         | -0.88         |
| 40       | 1.5250  | 64.80           | 65.57  | 65.09     | 64.74   | 64.2           | 0.77   | 0.29          | -0.06         | -0.60         |
| 41       | 1.4878  | 63.60           | 64.28  | 64.13     | 63.9    | 63.28          | 0.68   | 0.53          | 0.30          | -0.32         |
| 42       | 1.4524  | 60.10           | 62.98  | 63.18     | 63.07   | 62.37          | 2.88   | 3.08          | 2.97          | 2.27          |
| 43       | 1.4186  | 60.00           | 61.67  | 62.23     | 62.24   | 61.47          | 1.67   | 2.23          | 2.24          | 1.47          |
| 44       | 1.3864  | 60.00           | 60.35  | 61.28     | 61.42   | 60.58          | 0.35   | 1.28          | 1.42          | 0.58          |
| 45       | 1.3556  | 60.00           | 59.02  | 60.33     | 60.6    | 59.69          | -0.98  | 0.33          | 0.60          | -0.31         |
| 46       | 1.3261  | 58.70           | 57.66  | 59.38     | 59.77   | 58.8           | -1.04  | 0.68          | 1.07          | 0.10          |
| 47       | 1.2979  | 56.30           | 56.27  | 58.42     | 58.95   | 57.91          | -0.03  | 2.12          | 2.65          | 1.61          |
| 48       | 1.2708  | 56.00           | 54.86  | 57.45     | 58.11   | 57.02          | -1.14  | 1.45          | 2.11          | 1.02          |
| 49       | 1.2449  | 55.50           | 53.40  | 56.47     | 57.26   | 56.13          | -2.10  | 0.97          | 1.76          | 0.63          |
| 50       | 1.2200  | 53.70           | 51.90  | 55.47     | 56.4    | 55.22          | -1.80  | 1.77          | 2.70          | 1.52          |
| 51       | 1.1961  | 53.00           | 50.33  | 54.45     | 55.52   | 54.31          | -2.67  | 1.45          | 2.52          | 1.31          |
| 52       | 1.1731  | 51.70           | 48.70  | 53.4      | 54.61   | 53.37          | -3.00  | 1.70          | 2.91          | 1.67          |
| 53       | 1.1509  | 51.30           | 46.98  | 52.3      | 53.67   | 52.41          | -4.32  | 1.00          | 2.37          | 1.11          |
| 54       | 1.1296  | 49.50           | 45.14  | 51.16     | 52.69   | 51.42          | -4.36  | 1.66          | 3.19          | 1.92          |
| 55       | 1.1091  | 48.80           | 43.16  | 49.96     | 51.64   | 50.39          | -5.64  | 1.16          | 2.84          | 1.59          |
| 56       | 1.0893  | 48.60           | 40.98  | 48.66     | 50.52   | 49.29          | -7.62  | 0.06          | 1.92          | 0.69          |
| 57       | 1.0702  | 47.00           | 38.51  | 47.24     | 49.28   | 48.11          | -8.49  | 0.24          | 2.28          | 1.11          |
| 58       | 1.0517  | 45.50           | 35.62  | 45.63     | 47.86   | 46.78          | -9.88  | 0.13          | 2.36          | 1.28          |
| 59       | 1.0339  | 44.50           | 31.98  | 43.67     | 46.14   | 45.24          | -12.52   | -0.83         | 1.64          | 0.74          |
| 60       | 1.0167  | 42.00           | 26.65  | 41.02     | 43.73   | 43.2           | -15.35   | -0.98         | 1.73          | 1.20          |
|          |         |                 |        |           |         | <b>Total</b>   | <b>-43.46</b>                                    | <b>-76.76</b> | <b>-91.99</b> | <b>-72.63</b> |

Tabla 20. Funciones de distribución y de altura de precipitación-periodo de retorno para las funciones con menor delta teórico

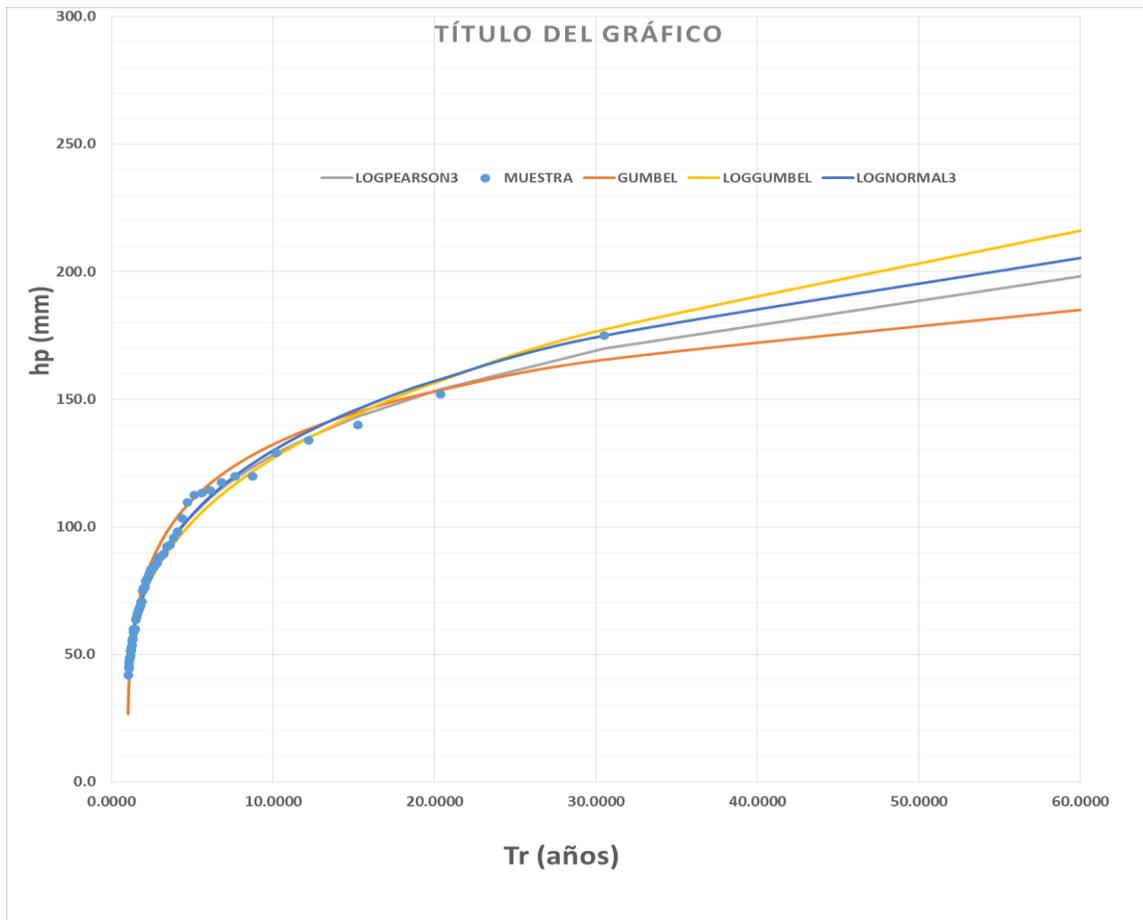


Figura 19. Comparativo de ajustes de probabilidad CONAGUA

### Análisis del gráfico

-Gumbel es conservadora para periodos de retornos menores a 20 años, pero subestima las precipitaciones para periodos de retorno mayores.

-Log Normal III y LogGumbel subestiman un poco las precipitaciones para periodos de retorno menores a 10 años, pero son más conservadoras conforme aumenta el periodo de retorno, siendo la más conservadora la segunda.

El comportamiento al que hace mención el análisis anterior para periodos de retorno menores a 10 años es más claro graficando la diferencia entre la función y los datos de la muestra  $F(x)$ -hp (últimas cuatro columnas de los cálculos en la tabla), lo cual nos dice claramente los rangos donde la función está por encima de los datos de la muestra y viceversa, así como de que magnitud es la diferencia. Como se puede ver en la figura 19, la diferencia oscila en más-menos 10mm, lo cual para condiciones prácticas no es tan relevante, por lo que la decisión obedece a la tendencia de las funciones para periodos de retorno mayor a 10 años.

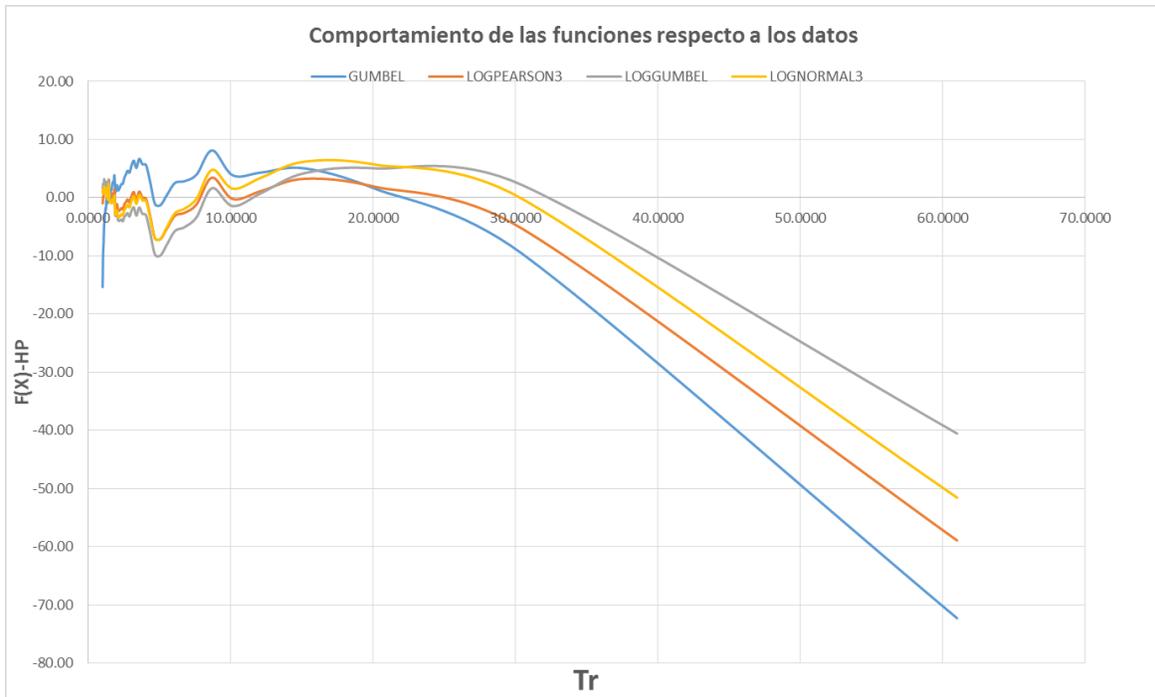


Figura 20. Comportamiento de funciones respecto a los datos CONAGUA

**B) Estación de la Universidad Autónoma de Sinaloa**

**Bondad de ajuste, Smirnov Kolmogorov.**

| Función        | Delta tabular. | Delta teorico. |
|----------------|----------------|----------------|
| LogNormal3P    | 0.2836         | 0.0743         |
| LogGumbel      | 0.2836         | 0.0753         |
| LogNormal2P    | 0.2836         | 0.1078         |
| Gamma 2P       | 0.2836         | 0.1425         |
| Gumbel         | 0.2836         | 0.1623         |
| Normal         | 0.2836         | 0.2071         |
| LogPearson III | 0.2836         | Sin ajuste     |

Tabla 21. Bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov

Seis funciones se ajustan con una significancia del 5%, igual que para la estación de CONAGUA se hizo una revisión gráfica calculando las precipitaciones con la función ajustada considerando las de menor delta teórico.

| No. de Orden | Precipitación (mm) | Tr (Años)            | LOGGUMBEL | GUMBEL | LOGNORMAL2 |
|--------------|--------------------|----------------------|-----------|--------|------------|
|              |                    | $Tr = \frac{n+1}{m}$ |           |        |            |
| 1            | 250.3              | 24.00                | 167.25    | 171.29 | 149.91     |
| 2            | 152.8              | 12.00                | 134.41    | 146.81 | 130.75     |
| 3            | 111.3              | 8.00                 | 117.92    | 132.15 | 119.35     |
| 4            | 103                | 6.00                 | 107.22    | 121.48 | 111.08     |
| 5            | 101.4              | 4.80                 | 99.39     | 113    | 104.52     |
| 6            | 87.7               | 4.00                 | 93.27     | 105.87 | 99.02      |
| 7            | 84.3               | 3.43                 | 88.25     | 99.68  | 94.26      |
| 8            | 82.1               | 3.00                 | 83.98     | 94.12  | 89.99      |
| 9            | 80.3               | 2.67                 | 80.31     | 89.12  | 86.17      |
| 10           | 77.4               | 2.40                 | 76.98     | 84.37  | 82.55      |
| 11           | 72.9               | 2.18                 | 73.98     | 79.92  | 79.17      |
| 12           | 71                 | 2.00                 | 71.29     | 75.76  | 76.03      |
| 13           | 69.9               | 1.85                 | 68.82     | 71.82  | 73.06      |
| 14           | 69.6               | 1.71                 | 66.29     | 67.63  | 69.92      |
| 15           | 60.2               | 1.60                 | 64.11     | 63.87  | 67.11      |
| 16           | 59.5               | 1.50                 | 61.93     | 59.99  | 64.23      |
| 17           | 58.2               | 1.41                 | 59.75     | 55.98  | 61.27      |
| 18           | 57.8               | 1.33                 | 57.58     | 51.84  | 58.24      |
| 19           | 56                 | 1.26                 | 55.44     | 47.59  | 55.15      |
| 20           | 55.4               | 1.20                 | 53.33     | 43.24  | 52.03      |
| 21           | 54.5               | 1.14                 | 50.82     | 37.86  | 48.23      |
| 22           | 51.6               | 1.09                 | 48.2      | 31.92  | 44.12      |
| 23           | 41.2               | 1.04                 | 44.42     | 22.77  | 38         |

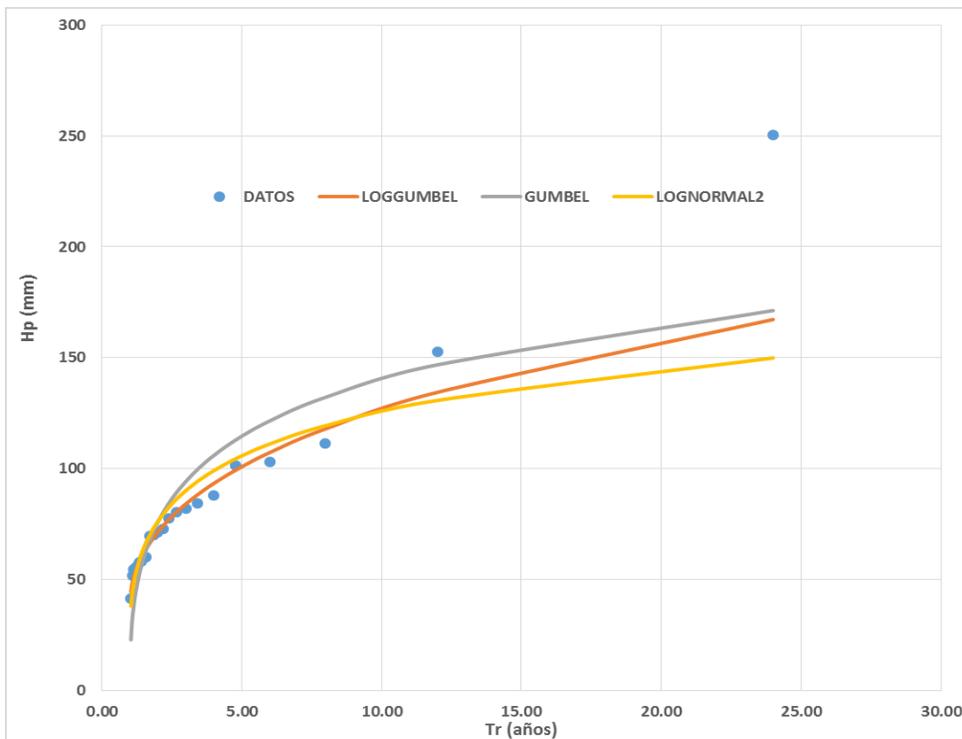


Figura 21. Comparativo de ajuste de funciones BIOLÓGÍA

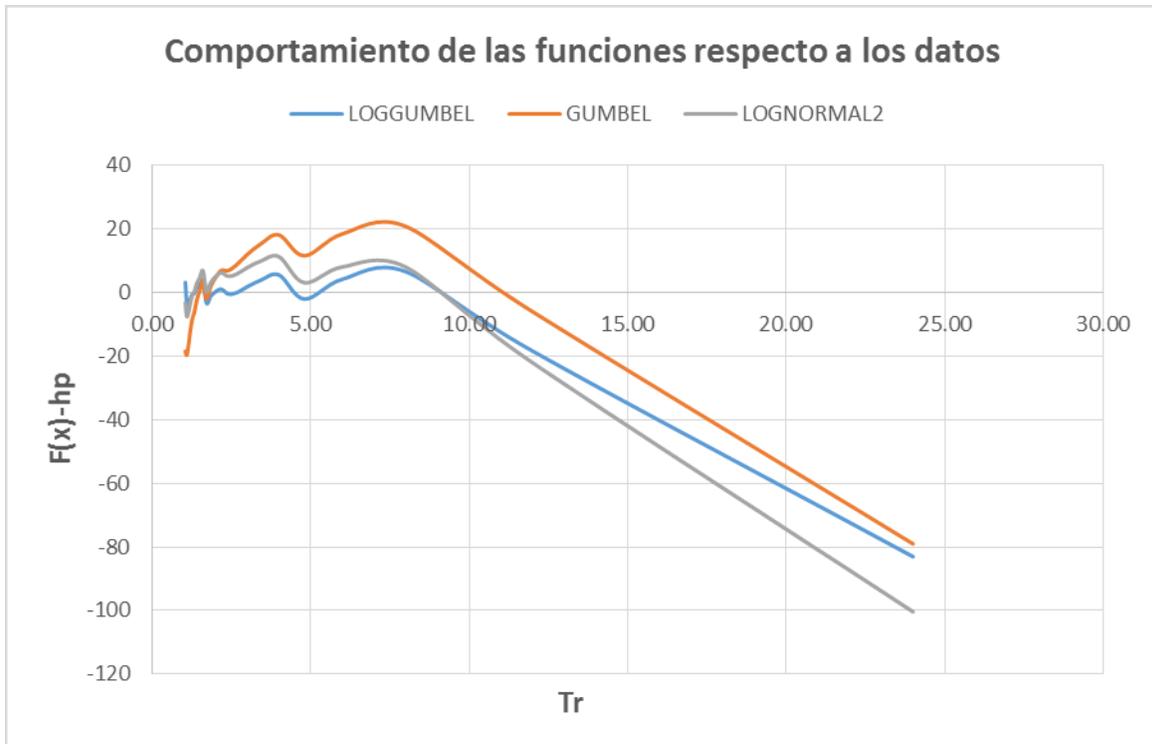


Figura 22. Comportamiento de funciones respecto a datos *BIOLOGÍA*

Después de revisar analítica y gráficamente el ajuste de cada una de las funciones de probabilidad se concluye que LogGumbel es la que tiene mejor comportamiento para periodos de retorno cortos y una tendencia conservadora para periodos de retorno mayores. Las precipitaciones máximas en 24 horas para esta función se muestran a continuación:

| Tr  | P 24H  |
|-----|--------|
| 2   | 73.38  |
| 5   | 102.02 |
| 10  | 126.9  |
| 15  | 143.53 |
| 20  | 156.45 |
| 25  | 167.19 |
| 50  | 205.14 |
| 100 | 251.32 |

Tabla 22. Precipitaciones máximas en 24 horas

### 3.5.4.3 Ecuación de F. C. Bell

$$P_t = (0.35 L_n T + 0.76) (0.54 t^{0.25} - 0.50)(P^{60}_2)$$

Dónde:

$P_t$  = Precipitación (mm) de duración  $t$  (minutos) y periodo de retorno  $T$  (años)

$P^{60}_2$  = Precipitación (mm) de duración 60 minutos y periodo de retorno de 2 años

$T$  = Periodo de retorno (años)

$t$  = Duración de la lluvia (minutos)

En la ecuación anterior se tiene el término  $P^{60}_2$ , el cual es necesario calcular para poder usar la ecuación de F. C. Bell.

La lluvia con duración de 60 min (una hora) y periodo de retorno de 2 años, se puede calcular con la relación respecto a la lluvia máxima en 24 horas con igual periodo de retorno, es decir:

$$K = (P_{60 \text{ min}, 2}) / (P_{24 \text{ hrs}, 2})$$

*Fórmula 22. Factor de duración*

$$P_{60 \text{ min}, 2} = K * (P_{24 \text{ hrs}, 2})$$

Dónde:

$K$  se obtiene de acuerdo a los criterios D. M. Hershfield, el de la Organización Meteorológica Mundial y el de U. S. Weather Bureau ampliado por B. M. Reich.

Los criterios son:

#### a) Criterio de D. M. Hershfield

Según estudios de D. M. Hershfield el valor de  $K$  varía de 0.10 a 0.60 y se puede estimar para cada zona de estudio como sigue:

Valores de  $K$  de acuerdo a las características de la cuenca en estudio:

#### Casos donde los valores de $K$ son bajos. Menores de 0.40

- Baja incidencia de tormentas convectivas o aguaceros y donde las grandes lluvias proceden de tormentas no convectivas.
- En el lado de barlovento de las montañas, donde las lluvias comienzan primero y terminan después que en los valles y lado de sotavento.
- Donde los procesos orográficos son la causa principal de las fuertes lluvias de invierno.
- En regiones de baja lluvia anual, donde el número de días con lluvia es pequeño.

#### Casos donde los valores de $K$ son altos. Mayores de 0.40

- En donde es bastante probable que la lluvia máxima diaria anual provenga de una tormenta convectiva de verano de duración sustancialmente menor a 24 hrs.
- En regiones de alta incidencia de fuertes aguaceros, donde tanto la lluvia máxima anual en una hora como la de 24 horas generalmente provienen de la misma tormenta.

De acuerdo a este criterio y las características de la zona de estudio coinciden en casos con valores de K altos, se propone tomar un valor entre 0.40 y 0.60.

### b) Criterio de la Organización Meteorológica Mundial

Este criterio indica que el valor de K se obtiene de acuerdo al número medio de días con lluvias por año, considerando días con lluvias mayor o igual a un milímetro, de acuerdo a la siguiente tabla.

|   |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|
| Número de días con lluvia por año                       | 1  | 8  | 16 | 24 |
| $(P_{1\text{hora}}/P_{24\text{horas}})_{2\text{ años}}$ | .2 | .3 | .4 | .5 |

Aplicando este criterio con información del Servicio Meteorológico Nacional que nos dice que el promedio de días con lluvia por año es de 53, y considerando solo los días con lluvia que ocurren en los meses más calientes (45 aprox) por considerar que son las condiciones mas favorables de ocurrencia de tormentas convectivas, se puede adoptar un cociente mayor a .5

c) Un último criterio que se considera el más completo es el propuesto por el U. S. Weather Bureau y ampliado por B. M. Reich, está en la figura siguiente:

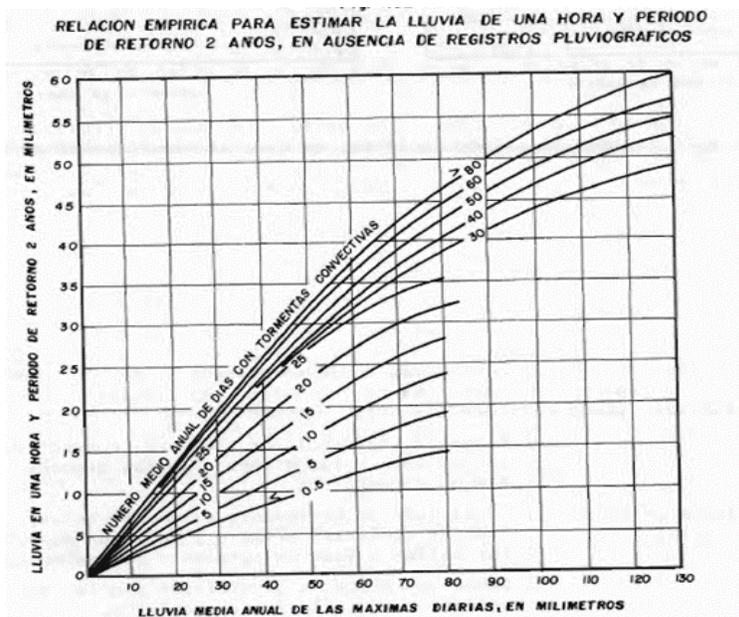


Figura 23. Relación empírica B. M. Reich

Con la precipitación media de registros de la estación de CONAGUA igual a 84.02 y tomando solo los meses más calientes del promedio de días con lluvias, que es cuando se tienen las condiciones para las tormentas convectivas, se toma el promedio de 45. Entrando a la gráfica obtenemos una lluvia de una hora y tormenta de dos años de 43 mm.

### Resumen de los tres criterios

- D. M. Hershfield, entre .4 y .6
- Organización Meteorológica Mundial, considerablemente mayor a .5
- B. M. Reich, lluvia de 43mm resultando un cociente de .59

Tomando en cuenta los tres resultados adoptamos un valor de .6 para el cociente K.

Con el valor de K y el de P24<sub>hrs,2</sub> se calcula P<sub>60,2</sub>

$$P_{60,2} = K * P_{24 \text{ hrs},2} = .6 * 73.38 \text{ mm} = 44.03 \text{ mm}$$

$$P_{60,2} = 44.03 \text{ mm}$$

Finalmente la ecuación de F. C. Bell para los registros de la estación climatológica de CONAGUA se obtiene sustituyendo el valor de P<sub>60,2</sub> en la ecuación general.

$$P_{t,T} = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 t^{0.25} - 0.50)(44.03)$$

Fórmula 23. ecuación de F. C. Bell para los registros de la estación climatológica de CONAGUA

### 3.5.4.4 Curvas intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-Tr)

Una vez obtenida la ecuación de F. C. Bell para los registros de la estación en estudio, se realizan los cálculos para obtener las curvas.

Precipitación-Duración-Periodo de retorno

| Ecuación de F. C. Bell |        |   |       |       |       |        |        |        |
|------------------------|--------|---|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Tr                     | P 24H  | Precipitación en mm y duración en minutos |       |       |       |        |        |        |
|                        |        | 5   | 15    | 30    | 45    | 60     | 90     | 120    |
| 2                      | 73.38  | 13.57                                     | 24.84 | 33.72 | 39.67 | 44.27  | 51.35  | 56.82  |
| 5                      | 102.02 | 17.92                                     | 32.79 | 44.50 | 52.36 | 58.43  | 67.77  | 75.00  |
| 10                     | 126.9  | 21.20                                     | 38.80 | 52.66 | 61.95 | 69.14  | 80.20  | 88.75  |
| 15                     | 143.53 | 23.12                                     | 42.31 | 57.43 | 67.57 | 75.41  | 87.47  | 96.79  |
| 20                     | 156.45 | 24.48                                     | 44.81 | 60.82 | 71.55 | 79.86  | 92.62  | 102.50 |
| 25                     | 167.19 | 25.54                                     | 46.74 | 63.44 | 74.64 | 83.30  | 96.62  | 106.92 |
| 50                     | 205.14 | 28.83                                     | 52.75 | 71.60 | 84.24 | 94.02  | 109.05 | 120.67 |
| 100                    | 251.32 | 32.11                                     | 58.76 | 79.76 | 93.84 | 104.73 | 121.47 | 134.42 |

Intensidad-Duración-Periodo de retorno, esta relación se obtiene dividiendo la altura de precipitación entre la duración correspondiente, los resultados se muestran en la tabla 23.

| Ecuación de F. C. Bell |  |        |        |        |        |       |       |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Tr                     | Intensidad en mm/h y duración en minutos |        |        |        |        |       |       |
|                        | 5  | 15     | 30     | 45     | 60     | 90    | 120   |
| 2                      | 162.88                                   | 99.36  | 67.43  | 52.89  | 44.27  | 34.23 | 28.41 |
| 5                      | 214.98                                   | 131.14 | 89.00  | 69.81  | 58.43  | 45.18 | 37.50 |
| 10                     | 254.39                                   | 155.18 | 105.32 | 82.60  | 69.14  | 53.47 | 44.37 |
| 15                     | 277.45                                   | 169.25 | 114.86 | 90.09  | 75.41  | 58.31 | 48.40 |
| 20                     | 293.80                                   | 179.22 | 121.63 | 95.40  | 79.86  | 61.75 | 51.25 |
| 25                     | 306.49                                   | 186.96 | 126.89 | 99.52  | 83.30  | 64.42 | 53.46 |
| 50                     | 345.91                                   | 211.01 | 143.20 | 112.32 | 94.02  | 72.70 | 60.34 |
| 100                    | 385.32                                   | 235.05 | 159.52 | 125.12 | 104.73 | 80.98 | 67.21 |

Tabla 23. Intensidad-duración-periodos de retorno (i-d-Tr)

De la Tabla anterior se obtienen las curvas intensidad-duración-periodos de retorno (i-d-Tr), como se muestra en la figura 23.

#### Curvas intensidad-duración-periodo de retorno

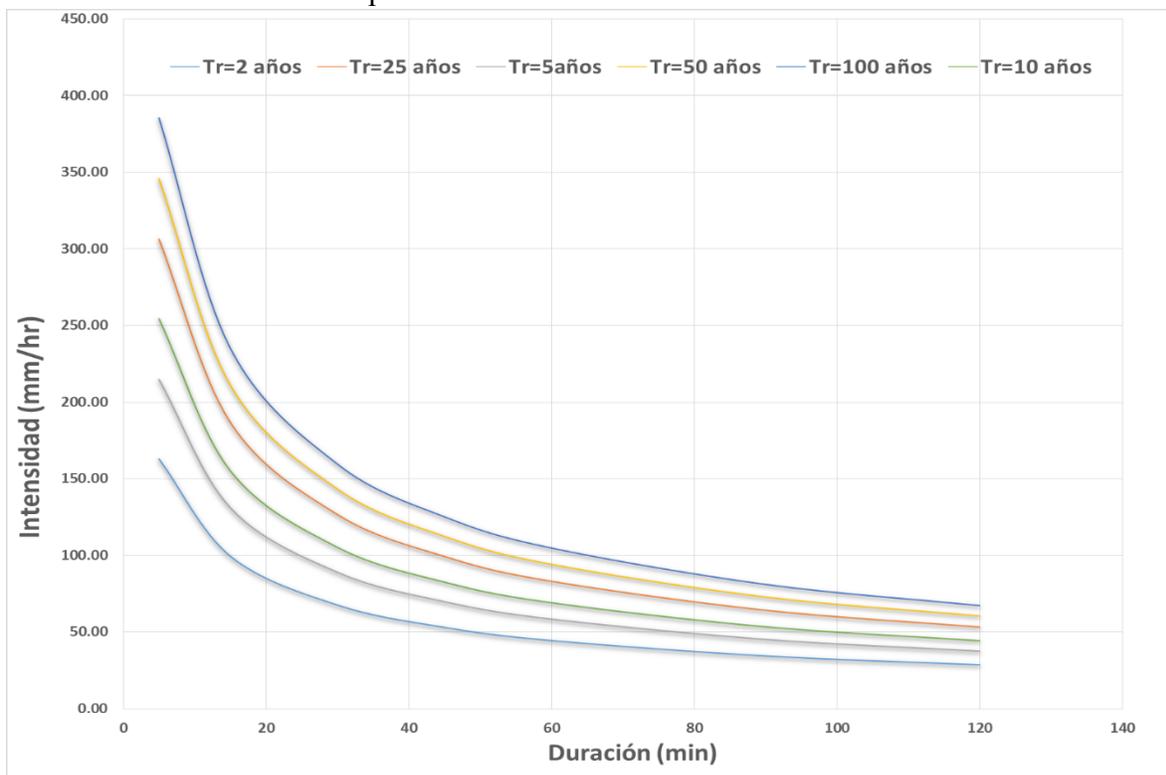


Figura 24. Curvas IDF

### 3.5.4.5 Intensidad de lluvias de diseño

La intensidad de lluvias de diseño se calcula sustituyendo los valores estimados para el periodo de retorno y el tiempo de concentración de cada una de las sub-cuencas analizadas en capítulos anteriores en la ecuación de F. C. Bell, de la misma forma que se calcularon para hacer las gráficas I-D-Tr. En las siguientes dos tablas se agregaron las últimas cuatro columnas para las cuatro sub-cuencas con su respectiva duración (tiempo de concentración) y varios periodos de retorno, así como los cálculos de las precipitaciones e intensidades respectivamente.

Recordando los tiempos de concentración calculados anteriormente, que serán las duraciones para sustituir en la ecuación de F. C. Bell.

| Resumen de tiempos de concentración por subcuenca |       |          |  |
|---|-------|----------|--|
| SC  | Cauce | tc (min) |  |
| 1   | 1     | 9.66     |  |
| 2   | 4A-4B | 45.54    |  |
| 3   | 8     | 16.75    |  |
| 4   | 6     | 11.58    |  |

| Ecuación de F. C. Bell |        |   |       |       |       |        |        |        | Precipitación para duraciones de proyecto |       |       |       |
|------------------------|--------|---|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---|-------|-------|-------|
| Tr                     | P 24H  | Precipitación en mm y duración en minutos |       |       |       |        |        |        | SC-1                                      | SC-2  | SC-3  | SC-4  |
|                        |        | 5   | 15    | 30    | 45    | 60     | 90     | 120    |   |       |       |       |
|                        |        |   |       |       |       |        |        |        | 9.66                                      | 45.54 | 16.75 | 11.58 |
| 2                      | 73.38  | 13.57                                     | 24.84 | 33.72 | 39.67 | 44.27  | 51.35  | 56.82  | 19.95                                     | 39.85 | 26.15 | 21.90 |
| 5                      | 102.02 | 17.92                                     | 32.79 | 44.50 | 52.36 | 58.43  | 67.77  | 75.00  | 26.33                                     | 52.60 | 34.52 | 28.91 |
| 10                     | 126.9  | 21.20                                     | 38.80 | 52.66 | 61.95 | 69.14  | 80.20  | 88.75  | 31.16                                     | 62.24 | 40.84 | 34.21 |
| 15                     | 143.53 | 23.12                                     | 42.31 | 57.43 | 67.57 | 75.41  | 87.47  | 96.79  | 33.99                                     | 67.88 | 44.55 | 37.31 |
| 20                     | 156.45 | 24.48                                     | 44.81 | 60.82 | 71.55 | 79.86  | 92.62  | 102.50 | 35.99                                     | 71.88 | 47.17 | 39.51 |
| 25                     | 167.19 | 25.54                                     | 46.74 | 63.44 | 74.64 | 83.30  | 96.62  | 106.92 | 37.54                                     | 74.99 | 49.21 | 41.21 |
| 50                     | 205.14 | 28.83                                     | 52.75 | 71.60 | 84.24 | 94.02  | 109.05 | 120.67 | 42.37                                     | 84.63 | 55.54 | 46.51 |
| 100                    | 251.32 | 32.11                                     | 58.76 | 79.76 | 93.84 | 104.73 | 121.47 | 134.42 | 47.20                                     | 94.27 | 61.87 | 51.81 |

| Ecuación de F. C. Bell |  |        |        |        |        |       |       | Intensidad para duraciones de proyecto |              |              |              |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--|--------------|--------------|--------------|
| Tr                     | Intensidad en mm/h y duración en minutos |        |        |        |        |       |       | SC-1                                   | SC-2         | SC-3         | SC-4         |
|                        | 5  | 15     | 30     | 45     | 60     | 90    | 120   |  |              |              |              |
|                        |  |        |        |        |        |       |       | <b>9.66</b>                            | <b>45.54</b> | <b>16.75</b> | <b>11.58</b> |
| 2                      | 162.88                                   | 99.36  | 67.43  | 52.89  | 44.27  | 34.23 | 28.41 | 123.93                                 | 52.51        | 93.68        | 113.48       |
| 5                      | 214.98                                   | 131.14 | 89.00  | 69.81  | 58.43  | 45.18 | 37.50 | 163.57                                 | 69.30        | 123.64       | 149.77       |
| 10                     | 254.39                                   | 155.18 | 105.32 | 82.60  | 69.14  | 53.47 | 44.37 | 193.56                                 | 82.00        | 146.31       | 177.23       |
| 15                     | 277.45                                   | 169.25 | 114.86 | 90.09  | 75.41  | 58.31 | 48.40 | 211.10                                 | 89.44        | 159.57       | 193.29       |
| 20                     | 293.80                                   | 179.22 | 121.63 | 95.40  | 79.86  | 61.75 | 51.25 | 223.54                                 | 94.71        | 168.98       | 204.69       |
| 25                     | 306.49                                   | 186.96 | 126.89 | 99.52  | 83.30  | 64.42 | 53.46 | 233.20                                 | 98.80        | 176.28       | 213.53       |
| 50                     | 345.91                                   | 211.01 | 143.20 | 112.32 | 94.02  | 72.70 | 60.34 | 263.19                                 | 111.50       | 198.94       | 240.99       |
| 100                    | 385.32                                   | 235.05 | 159.52 | 125.12 | 104.73 | 80.98 | 67.21 | 293.17                                 | 124.21       | 221.61       | 268.45       |

Tabla 24. Intensidades para duraciones de proyecto

De esta última tabla se toman las intensidades correspondientes a los periodos de retorno para los que se diseñará cada una de los componentes del sistema de captación, almacenamiento y regulación.

### 3.5.4.6 Gastos de diseño

Algunos aspectos importantes de la fórmula racional, como ser posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia escurrimiento (1851 o 1889). Toma en cuenta, además del área de la cuenca, la intensidad de la precipitación y es particularmente muy utilizado en el diseño de drenajes urbanos. A continuación se presenta la Fórmula racional:

$$Q = 0.2778 CIA$$

Dónde:

Q = Gasto máximo instantáneo (m<sup>3</sup>/seg)

C = Coeficiente de escurrimiento, adimensional

I = Intensidad de la lluvia (mm/h) para el periodo de retorno seleccionado y el tiempo de concentración.

A = Área de la cuenca en kilómetros cuadrados.

La aplicación de esta fórmula para obtener los gastos de diseño se hace en las tablas que se presentan en seguida, en la última columna están los gastos de diseño para cada laguna y sub-cuenca. El caso de la laguna 2 que tiene dos sub-cuencas, significa que a ella llegan dos cauces, donde se utilizará cada gasto para diseñar las estructuras de entrada correspondiente a cada uno de ellos y la sumatoria de los gastos será con la que se diseñe la estructura o estructuras de descarga y de regulación donde corresponda.

| Gastos de diseño para cada sub-cuenca y laguna, volúmen permanente |                  |                    |                        |                         |                      |                                 |  |          |      |                   |
|--|------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------|--|----------|------|-------------------|
| Laguna   | Nombre Subcuenca | Periodo de retorno | Area (m <sup>2</sup> ) | Area (Km <sup>2</sup> ) | INTENSIDAD (mm/hora) | Coeficientes de escurrimiento C | Gasto pluvial de Diseño (m <sup>3</sup> /s) RACIONAL |          |      |                   |
| 1  | SC-01            | 2                  | 37004.00               | 0.037004                | 123.93               | 0.43                            | 0.55   | LAGUNA 1 | 0.55 | m <sup>3</sup> /s |
| 2  | SC-02            | 2                  | 104102.00              | 0.104102                | 52.51                | 0.51                            | 0.77   |          |      |                   |
| 2  | SC-03            | 2                  | 69,128                 | 0.069128                | 93.68                | 0.48                            | 0.87   | LAGUNA 2 | 1.64 | m <sup>3</sup> /s |
| 3  | SC-04            | 2                  | 29,216                 | 0.029216                | 113.48               | 0.45                            | 0.41   | LAGUNA 3 | 2.05 | m <sup>3</sup> /s |
| Cuenca   | Cuenca           | 2                  | 239450.00              | 0.23945                 | N/A                  | N/A                             | 2.60   |          |      |                   |

| Gastos de diseño para cada sub-cuenca y laguna, volúmen permanente |                  |                    |                        |                         |                      |                                 |  |          |      |                   |
|--|------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------|--|----------|------|-------------------|
| Laguna   | Nombre Subcuenca | Periodo de retorno | Area (m <sup>2</sup> ) | Area (Km <sup>2</sup> ) | INTENSIDAD (mm/hora) | Coeficientes de escurrimiento C | Gasto pluvial de Diseño (m <sup>3</sup> /s) RACIONAL |          |      |                   |
| 1  | SC-01            | 5                  | 37004.00               | 0.037004                | 163.57               | 0.43                            | 0.73   | LAGUNA 1 | 0.73 | m <sup>3</sup> /s |
| 2  | SC-02            | 5                  | 104102.00              | 0.104102                | 69.30                | 0.51                            | 1.01   |          |      |                   |
| 2  | SC-03            | 5                  | 69,128                 | 0.069128                | 123.64               | 0.48                            | 1.15   | LAGUNA 2 | 2.16 | m <sup>3</sup> /s |
| 3  | SC-04            | 5                  | 29,216                 | 0.029216                | 149.77               | 0.45                            | 0.54   | LAGUNA 3 | 2.71 | m <sup>3</sup> /s |
| Cuenca   | Cuenca           | 5                  | 239450.00              | 0.23945                 | N/A                  | N/A                             | 3.44   |          |      |                   |

| Gastos de diseño para cada sub-cuenca y laguna, volúmen medio |                  |                    |                        |                         |                      |                                 |  |          |      |                   |
|---|------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------|--|----------|------|-------------------|
| Laguna  | Nombre Subcuenca | Periodo de retorno | Area (m <sup>2</sup> ) | Area (Km <sup>2</sup> ) | INTENSIDAD (mm/hora) | Coeficientes de escurrimiento C | Gasto pluvial de Diseño (m <sup>3</sup> /s) RACIONAL |          |      |                   |
| 1   | SC-01            | 25                 | 37004.00               | 0.037004                | 233.20               | 0.48                            | 1.14   | LAGUNA 1 | 1.14 | m <sup>3</sup> /s |
| 2   | SC-02            | 25                 | 104102.00              | 0.104102                | 98.80                | 0.56                            | 1.59   |          |      |                   |
| 2   | SC-03            | 25                 | 69,128                 | 0.069128                | 176.28               | 0.53                            | 1.80   | LAGUNA 2 | 3.39 | m <sup>3</sup> /s |
| 3   | SC-04            | 25                 | 29,216                 | 0.029216                | 213.53               | 0.49                            | 0.85   | LAGUNA 3 | 4.24 | m <sup>3</sup> /s |
| Cuenca  | Cuenca           | 25                 | 239450.00              | 0.23945                 | N/A                  | N/A                             | 5.39   |          |      |                   |

| Gastos de diseño para cada sub-cuenca y laguna, volúmen medio |                  |                    |           |            |                      |                                  |   |          |      |      |
|---|------------------|--------------------|-----------|------------|----------------------|----------------------------------|---|----------|------|------|
| Laguna  | Nombre Subcuenca | Periodo de retorno | Area (m2) | Area (Km²) | INTENSIDAD (mm/hora) | Coefficientes de escurrimiento C | Gasto pluvial de Diseño (m³/s) RACIONAL |          |      |      |
| 1   | SC-01            | 50                 | 37004.00  | 0.037004   | 263.19               | 0.52                             | 1.41                                    | LAGUNA 1 | 1.41 | m³/s |
| 2   | SC-02            | 50                 | 104102.00 | 0.104102   | 111.50               | 0.61                             | 1.96                                    |          |      |      |
| 2   | SC-03            | 50                 | 69,128    | 0.069128   | 198.94               | 0.58                             | 2.22                                    | LAGUNA 2 | 4.17 | m³/s |
| 3   | SC-04            | 50                 | 29,216    | 0.029216   | 240.99               | 0.54                             | 1.05                                    | LAGUNA 3 | 5.23 | m³/s |
| Cuenca  | Cuenca           | 50                 | 239450.00 | 0.23945    | N/A                  | N/A                              | 6.63                                    |          |      |      |

| Gastos de diseño para cada sub-cuenca y laguna, volúmen mayor |        |            |           |            |            |                  |                  |          |      |      |
|---|--------|------------|-----------|------------|------------|------------------|------------------|----------|------|------|
| Laguna  | Nombre | Periodo de | Area (m2) | Area (Km²) | INTENSIDAD | Coefficientes de | Gasto pluvial de |          |      |      |
| 1   | SC-01  | 100        | 37004.00  | 0.037004   | 293.17     | 0.54             | 1.63             | LAGUNA 1 | 1.63 | m³/s |
| 2   | SC-02  | 100        | 104102.00 | 0.104102   | 124.21     | 0.63             | 2.27             |          |      |      |
| 2   | SC-03  | 100        | 69,128    | 0.069128   | 221.61     | 0.60             | 2.57             | LAGUNA 2 | 4.84 | m³/s |
| 3   | SC-04  | 100        | 29,216    | 0.029216   | 268.45     | 0.56             | 1.22             | LAGUNA 3 | 2.23 | m³/s |
| Cuenca  | Cuenca | 100        | 239450.00 | 0.23945    | N/A        | N/A              | 7.70             |          |      |      |

Tabla 25. Gastos de diseño

### 3.5.5 Dimensionamiento de estructuras

#### 3.5.5.1 Almacenamiento

##### A) Justificación de capacidad de almacenamiento

Antes de iniciar con los cálculos para determinar volúmenes de almacenamiento se obtuvo del departamento de diseño algunos criterios de uso y aprovechamiento de los cuerpos de agua, los de mayor impacto para el desarrollo del proyecto fueron los siguientes:

- Conservar un volumen permanente para fines recreativos la mayor parte del año.
- Diseñar el sistema con el máximo porcentaje de aprovechamiento del agua.

Para determinar el almacenamiento de cada una de las lagunas se hizo un análisis preliminar en cada una de ellas, considerando las superficies propuestas en el diseño arquitectónico y una profundidad promedio de 1.3 m, como se muestra a continuación:

| Capacidades de almacenamiento, de acuerdo al diseño arquitectónico |                 |                 |  |  |  |
|--|-----------------|-----------------|--|--|--|
| Lago   | Superficie (m2) | Profundidad (m) |  |  |  |
| 1  | 1202            | 1.2             |  |  |  |
| 2  | 11017           | 1.2             |  |  |  |
| 3  | 2655            | 0               |  |  |  |
| <b>El lago 3 se considera de detención seco.</b>                   |                 |                 |  |  |  |

El procedimiento de dimensionamiento consistió inicialmente en hacer un balance tomando en cuenta solo los volúmenes aportados por la precipitación excedente sobre la superficie de la cuenca, y la precipitación directa sobre la superficie de los estanques, como entradas, y la evaporación sobre la superficie libre del estanque como salidas (VOL DE PRECIP – VOL EVAP), esto para revisar la posibilidad de almacenar el total del volumen aportado para reserva hacia los meses secos. Los resultados obtenidos en el análisis anterior fueron que el volumen almacenado era de aproximadamente un 30% del volumen captado, cuyo porcentaje

significa la eficiencia de aprovechamiento de agua de lluvia, el 70% restante se derramaría formando parte de los escurrimientos urbanos. Con el objetivo de aumentar el porcentaje de aprovechamiento, se propuso al departamento de diseño aumentar la superficie de almacenamiento y la profundidad de los lagos, con esto se logró aumentar el porcentaje a un 40% aproximadamente, y se llegó a las capacidades de almacenamiento que se muestran en la tabla, adicionalmente se propuso almacenar también en la laguna tres por considerar que la laguna dos tiene mayor capacidad de regulación por su mayor superficie de almacenamiento, y factibilidad topográfica de niveles para manejar la regulación.

| <b>Capacidades de almacenamiento propuestas y aceptadas por diseño</b>              |                 |                 |
|---|-----------------|-----------------|
| Lago  | Superficie (m2) | Profundidad (m) |
| 1   | 1740            | 2               |
| 2   | 13463           | 1.2 y 1.5       |
| 3   | 2655            | 2.1             |
| <b>El lago 2 cuenta con dos profundidades (riego y permanente respectivamente).</b> |                 |                 |

Tabla 26. Capacidad de almacenamiento de lagos

Las dimensiones de la tabla 27 fue el máximo almacenamiento que se pudo gestionar y acordar con el departamento de diseño para lograr aumentar la eficiencia del sistema de lagos propuesto. Esto implica que los diseños de los volúmenes de almacenamiento para las diferentes funciones (volumen permanente para recreación, volumen para riego y volumen para regulación) de las lagunas se ajustan a estas condiciones físicas establecidas en esta etapa, por lo que la capacidad de almacenamiento ya no está sujeta a cambios posteriores.

Finalmente, como la restricción principal es la capacidad de almacenamiento no es posible aportar volumen para riego y al mismo tiempo conservar el volumen permanente solicitado. Se propone aportar un volumen para riego de áreas verdes, aprovechando lo que se sabe por experiencia sobre riego de áreas verdes, que las plantas pequeñas y sobre todo las coberturas como áreas de césped tienen su raíz en la parte superficial del suelo, y en consecuencia, durante los meses húmedos hay periodos donde esta parte superficial requiere riegos de apoyo, ya que es insuficiente la humedad que conserva el suelo para cubrir las necesidades de estas plantas. Se hizo un análisis de la situación descrita con el objetivo de estimar de manera razonable las cantidades probables de aportación para riego en meses húmedos, este análisis se hizo de la siguiente manera:

Definiendo las condiciones de humedad de acuerdo al Soil Conservation Service;

CHA I- condición seca

CHA II- condición media

CHA III- condición húmeda

Se calculó el promedio de días con condición de humedad antecedente (CHA) I y III, y haciendo una revisión del comportamiento de estas dos condiciones, lo que se encuentra es que las condiciones CHA III se presentan en grupos de 4 o 5 días, los días siguientes inmediatos a una precipitación de magnitud considerable, o bien entre varias de ellas; este

comportamiento forma intervalos donde se presentan condiciones CHA I donde ya es necesario aplicar riegos en las áreas verdes con plantas pequeñas o coberturas de plantas con raíces superficiales donde inicia la pérdida de humedad del suelo.

El análisis se hace para los meses normalmente húmedos.

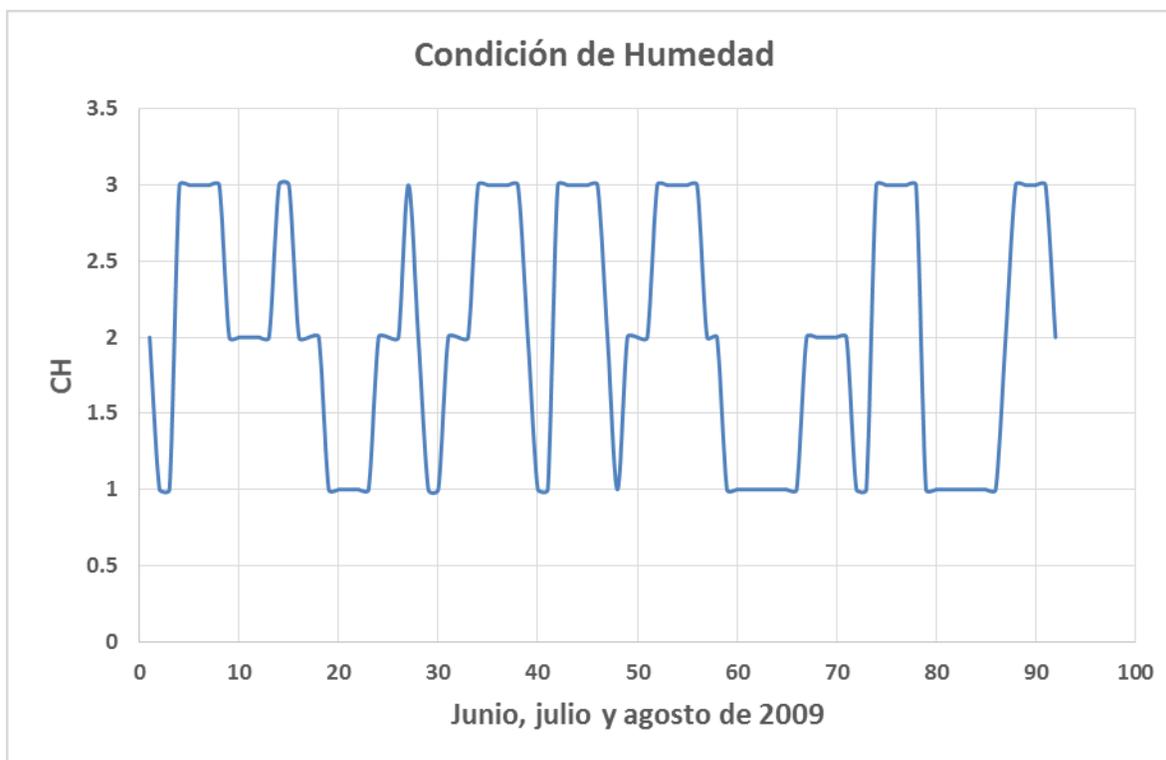


Figura 25. Comportamiento de humedad durante los meses más húmedos.

| MES        | DIAS CON CHA |        | PROMEDIO |       | DPR  |
|------------|--------------|--------|----------|-------|------|
|            | I            | III    | I        | III   |      |
| junio      | 1241.00      | 263.00 | 23.00    | 5.00  | 1.00 |
| julio      | 696.00       | 650.00 | 13.00    | 12.00 | 4.00 |
| agosto     | 652.00       | 744.00 | 12.00    | 14.00 | 4.00 |
| septiembre | 1033.00      | 381.00 | 19.00    | 7.00  | 2.00 |
| octubre    | 1489.00      | 103.00 | 27.00    | 2.00  | 1.00 |

Tabla 27. Análisis de CHA para meses húmedos

Con el análisis anterior se estimaron los días probables de riego (DPR) por cada mes donde se presentan la mayor parte de las lluvias, esto con el objetivo darle una mayor utilidad al almacenamiento y compensar la limitante de aportar cantidades importantes de agua en meses secos.

Los volúmenes estimados como probable aportación aparecen en la columna de riego en la tabla de condiciones de almacenamiento presentada en la página anterior, los cuales se estimaron considerando la capacidad de almacenamiento de las lagunas sin incluir el volumen de almacenamiento permanente.

## **B) Simulación de vasos de almacenamiento**

A continuación se presenta una tabla diseñada para hacer la simulación mensual de los vasos de almacenamiento considerando las condiciones mencionadas anteriormente, tanto de capacidad, como de funciones.

El funcionamiento de la tabla se describe a continuación:

Las celdas en amarillo de la tabla superior izquierda son los datos que hay que introducir para realizar los cálculos, que son el año para el que se quiere hacer el cálculo y la laguna que se quiere analizar. Con estas celdas llenas, la tabla actualiza la siguiente información:

-NI, NII, NIII- Son los números de escurrimiento para cada condición de humedad y para cada cuenca correspondiente a la laguna seleccionada.

-ACUENC- Es el área de la cuenca de la laguna seleccionada.

-SUP- Superficie de almacenamiento de la laguna seleccionada.

-ALMAC PERMANENT- Es el volumen de almacenamiento que se quiere conservar para recreación.

-CAPACIDAD DE ALM- Es el volumen máximo que puede almacenar la laguna seleccionada (volumen permanente + volumen para riego).

Finalmente para hacer la simulación de cada vaso en años consecutivos, se tienen que alimentar manualmente lo siguiente:

-ENT-SAL AÑO ANT- Es el volumen útil del año anterior, que se registra en la última celda de la columna 12.

-VOL AÑO ANTERIOR- Es el volumen almacenado que tenía la laguna el mes de diciembre del año anterior, se registra al final de la columna 14.

**En resumen, la simulación se hace seleccionando una laguna, iniciando con un año cualquiera, y posteriormente introducir el año siguiente, e ir actualizando los dos últimos datos descritos, los cuales deben iniciar en cero para el primer año.**

A continuación se describen los cálculos por columna:

**PRECIPITACIÓN**- Es la altura de precipitación efectiva mensual que cae sobre la cuenca, se utiliza en la tabla para calcular el volumen captado directamente sobre la superficie de la laguna.

**PRECIP EX** - Precipitación excedente, es la parte de la altura precipitación efectiva en mm que se convierte en escurrimiento, calculada con el método de abstracciones del SCS descrito en la metodología.

**VOL DE PRCIP** –Volumen captado por la laguna en m<sup>3</sup>, que resulta de la sumatoria del volumen de precipitación excedente captado por la cuenca y el volumen de precipitación efectiva captado directamente por la superficie del vaso.

**EVAP**- Altura de evaporación mensual en mm registrada en un evaporímetro, se corrige con un coeficiente para calcular el volumen evaporado directamente de la superficie de la laguna.

**EVAP C**- Altura de precipitación corregida en mm con un coeficiente de tanque de .7 aplicado a los datos del evaporímetro.

**VOL EVAP**-Volumen evaporado en m<sup>3</sup>, calculado con la altura de evaporación corregida sobre la superficie directa de la laguna.

**INFILTRACIÓN**- Es el volumen mensual que se pierde por infiltración. Este volumen se calcula con las recomendaciones de la referencia 15.

**RIEGO**- Estos volúmenes se estiman con la tabla 28, que en la última columna calcula los días probables de aportación para riego, los cuales se multiplican por un volumen que se estima de acuerdo a la capacidad de almacenamiento de la laguna que se está analizando.

**ENT-SAL**-Esta columna calcula la diferencia entre la entrada proveniente del volumen de precipitación y las salidas que se componen de volumen evaporado y aportación para riego. Esta columna se incluye en los cálculos para tener un estimado del volumen que debería almacenarse para satisfacer todas las demandas, incluyendo la evaporación en meses secos.

**VOL A ALMAC**- Calcula el volumen disponible para almacenar, es decir, las cantidades positivas de la columna anterior.

**VOL ACUM CAPTADO**- Es el acumulado de ENT-SAL, donde se calcula la diferencia entre el máximo y el mínimo, que representa el volumen útil o volumen necesario para satisfacer las demandas o salidas.

**VOL ALMAC**- Volumen almacenado, es el volumen que mantiene la laguna durante cada uno de los meses después de las aportaciones para riego y la evaporación, donde el máximo que se registra en esta columna corresponde a la capacidad de la laguna que se compone del volumen permanente y el volumen para riego.

**ESTADO DEL VASO**- Esta columna solo nos dice en que rango de almacenamiento se encuentra la laguna cada mes, donde “vacío” es completamente seco, “volumen permanente” es el rango de almacenamiento mínimo que se pretende conservar para recreación, “reserva” es el rango de almacenamiento para riego y, “lleno” es cuando la laguna ya está derramando o está a punto de derramar, este último corresponde al máximo valor que registra la columna anterior.

En la tabla se presenta la revisión de la laguna 2 porque es la que tiene la mayor área aportante que representa el 72% del total de la cuenca, sin embargo este procedimiento fue el mismo para cada laguna.

Cálculo de condiciones de almacenamiento de laguna (caso laguna 2).

|         |        |    |                  |          |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--------|----|------------------|----------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| AÑO=    | 2014   |    |                  |          |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| LAGUNA  | 2      |    |                  |          |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| NI=     | 68.8   |    |                  |          |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| NI=     | 84.0   |    | ALMAC PERMANENTE | 5794     | m3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| NI=     | 92.4   |    | ENT-SAL AÑO ANT  | 0        | m3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ACUENC= | 173230 | m2 | CAPACIDAD DE ALM | 19572    | m3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SUP=    | 4376   | m2 | VOL AÑO ANTERIOR | 14849.97 | m3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| MES                         | PRECIPITACIÓN (mm) | PRECIP EX(mm) | VOL DE PRECIP(m3) | EVAP (mm) | EVAP C  | VOL EVAP (m3) | INFILTRACIÓN (m3) | RIEGO (m3) | ENT-SAL  | VOL A ALMAC (m3) | ENT-SAL ACUM (m3) | VOL ACUM CAPTADO | VOL ALMAC | ESTADO DEL VASO | DERRAME  |
|-----------------------------|--------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|---------------|-------------------|------------|----------|------------------|-------------------|------------------|-----------|-----------------|----------|
| enero                       | 0.00               | 0.00          | 0.00              | 158.50    | 110.95  | 485.52        | 257.74            | 0.00       | -743.25  | 0.00             | -743.25           | 14849.97         | 14106.72  | RESERVA         | 0.00     |
| febrero                     | 0.10               | 0.17          | 30.70             | 188.50    | 131.95  | 577.41        | 257.74            | 0.00       | -804.45  | 0.00             | -1547.70          | 14849.97         | 13302.27  | RESERVA         | 0.00     |
| marzo                       | 0.00               | 0.00          | 0.00              | 245.90    | 172.13  | 753.24        | 257.74            | 0.00       | -1010.98 | 0.00             | -2558.68          | 14849.97         | 12291.30  | RESERVA         | 0.00     |
| abril                       | 1.50               | 0.07          | 18.44             | 262.10    | 183.47  | 802.86        | 257.74            | 0.00       | -1042.16 | 0.00             | -3600.84          | 14849.97         | 11249.14  | RESERVA         | 0.00     |
| mayo                        | 212.10             | 185.82        | 33117.51          | 228.80    | 160.16  | 700.86        | 257.74            | 0.00       | 32158.91 | 32416.65         | 28558.08          | 47266.63         | 19572.00  | LLENO           | 24093.79 |
| junio                       | 123.00             | 98.00         | 17514.28          | 202.90    | 142.03  | 621.52        | 257.74            | 5000.00    | 11635.02 | 11892.75         | 40193.09          | 59159.38         | 19572.00  | LLENO           | 11892.75 |
| julio                       | 204.80             | 175.19        | 31244.16          | 167.10    | 116.97  | 511.86        | 257.74            | 20000.00   | 10474.56 | 10732.29         | 50667.65          | 69891.67         | 19572.00  | LLENO           | 10732.29 |
| agosto                      | 91.80              | 65.34         | 11720.94          | 158.30    | 110.81  | 484.90        | 257.74            | 20000.00   | -9021.70 | 0.00             | 41645.95          | 69891.67         | 10550.30  | RESERVA         | 0.00     |
| septiembre                  | 28.20              | 21.87         | 3911.87           | 164.60    | 115.22  | 504.20        | 257.74            | 10000.00   | -6850.07 | 0.00             | 34795.88          | 69891.67         | 3700.23   | VOL PERM        | 0.00     |
| octubre                     | 1.00               | 0.00          | 4.70              | 127.00    | 88.90   | 389.03        | 257.74            | 5000.00    | -5642.06 | 0.00             | 29153.82          | 69891.67         | 0.00      | VACÍO           | 0.00     |
| noviembre                   | 0.00               | 0.00          | 0.00              | 106.50    | 74.55   | 326.23        | 257.74            | 0.00       | -583.97  | 0.00             | 28569.85          | 69891.67         | 0.00      | VACÍO           | 0.00     |
| diciembre                   | 10.20              | 3.52          | 654.48            | 118.40    | 82.88   | 362.68        | 257.74            | 0.00       | 34.06    | 291.80           | 28603.91          | 70183.47         | 34.06     | VOL PERM        | 0.00     |
| SUMA                        | 672.70             | 549.98        | 98217.07          | 2128.60   | 1490.02 | 6520.33       | 3092.83           | 60000.00   | 28603.91 | 31696.75         | 54268.49          | 70183.47         |           |                 | 46718.84 |
|                             |                    |               |                   |           |         |               |                   |            |          |                  | <b>VOL ÚTIL</b>   |                  |           |                 |          |
| % DE USO Y APROVECHAMIENTO= |                    |               | 81%               |           |         |               |                   |            |          |                  |                   |                  |           |                 |          |

Tabla 28. Cálculo de condiciones de almacenamiento de laguna (caso laguna 2).

La información presentada en la tabla de condiciones de almacenamiento se presenta graficada a continuación para un mejor análisis donde se puede notar lo siguiente:

- 1- El volumen se mantiene la mayor parte del año en este escenario, el cual viene de una simulación desde 2010 iniciando con volumen 0. Esto significa que a la hora de la operación es posible mantener un volumen permanente logrando un equilibrio entre almacenamiento, evaporación, infiltración, y aportaciones para riego.
- 2- La gráfica de riego es similar a la de captación, solo con un desplazamiento relativo hacia la derecha, que representa que las aportaciones se dan después de la captación.
- 3- En la gráfica de almacenamiento hay una entrada en el mes de noviembre, y en los cálculos de la tabla de comportamiento en la última columna hay un derrame de 8592 m<sup>3</sup> correspondiente a esta entrada, lo que representa una posibilidad de aportación adicional, de esta manera se puede confirmar que operativamente será más fácil cumplir con los objetivos del proyecto.

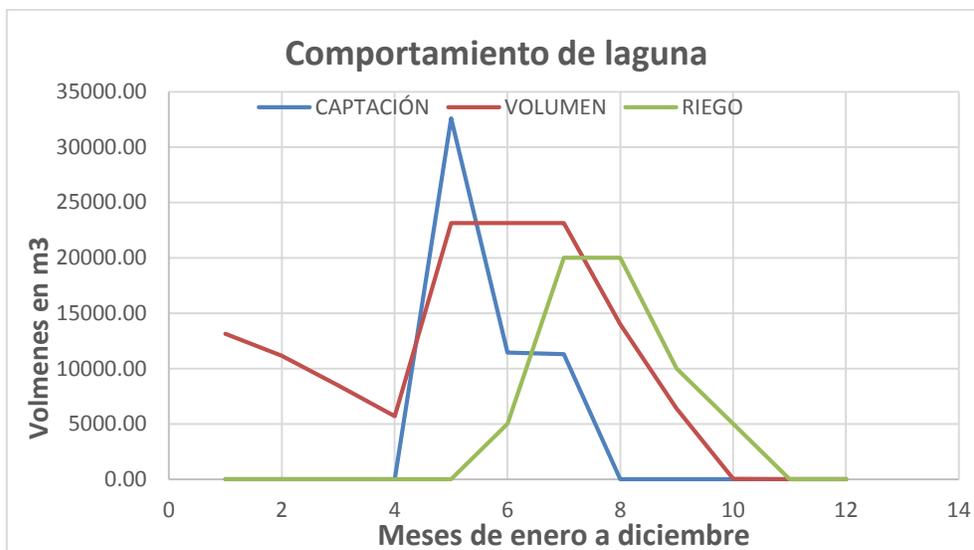


Figura 26. Comportamiento de laguna 2

| SUP LAGUNA 3= 2061    ALMAC LAGUNA 3= 4177  |          |           |         |               |              |          |          |                  |           |                 |          |  |  |
|---|----------|-----------|---------|---------------|--------------|----------|----------|------------------|-----------|-----------------|----------|--|--|
| SIMULACIÓN DE LAGUNA 3, LOS CALCULOS SE REALIZAN CON EL DERRAME DE LA LAGUNA 2 Y SU CORRESPONDIENTE EVAPORACIÓN Y RIEGO |          |           |         |               |              |          |          |                  |           |                 |          |  |  |
| MES   | ENTRADA  | EVAP (mm) | EVAP C  | VOL EVAP (m3) | INFILTRACIÓN | RIEGO    | ENT-SAL  | VOL A ALMAC (m3) | VOL ALMAC | ESTADO DEL VASO | DERRAME  |  |  |
| enero   | 0.00     | 158.50    | 110.95  | 228.67        | 35.18        | 0.00     | -263.85  | 0.00             | 0.00      | VACÍO           | 0.00     |  |  |
| febrero   | 0.36     | 188.50    | 131.95  | 271.95        | 35.18        | 0.18     | -306.95  | 0.00             | 0.00      | VACÍO           | 0.00     |  |  |
| marzo   | 0.00     | 245.90    | 172.13  | 354.76        | 35.18        | 0.00     | -389.94  | 0.00             | 0.00      | VACÍO           | 0.00     |  |  |
| abril   | 0.14     | 262.10    | 183.47  | 378.13        | 35.18        | 0.07     | -413.25  | 0.00             | 0.00      | VACÍO           | 0.00     |  |  |
| mayo  | 24476.76 | 228.80    | 160.16  | 330.09        | 35.18        | 12238.38 | 11873.11 | 11908.29         | 4177.00   | LENO            | 7731.29  |  |  |
| junio   | 12094.73 | 202.90    | 142.03  | 292.72        | 35.18        | 6047.36  | 5719.45  | 5754.64          | 4177.00   | LENO            | 5754.64  |  |  |
| julio   | 11093.36 | 167.10    | 116.97  | 241.08        | 35.18        | 5546.68  | 5270.42  | 5305.60          | 4177.00   | LENO            | 5305.60  |  |  |
| agosto  | 134.67   | 158.30    | 110.81  | 228.38        | 35.18        | 67.34    | -196.23  | 0.00             | 3980.77   | RESERVA         | 0.00     |  |  |
| septiembre  | 45.07    | 164.60    | 115.22  | 237.47        | 35.18        | 22.54    | -250.12  | 0.00             | 3730.66   | RESERVA         | 0.00     |  |  |
| octubre   | 0.00     | 127.00    | 88.90   | 183.22        | 35.18        | 0.00     | -218.40  | 0.00             | 3512.25   | RESERVA         | 0.00     |  |  |
| noviembre   | 0.00     | 106.50    | 74.55   | 153.65        | 35.18        | 0.00     | -188.83  | 0.00             | 3323.42   | RESERVA         | 0.00     |  |  |
| diciembre   | 7.26     | 118.40    | 82.88   | 170.82        | 35.18        | 3.63     | -202.37  | 0.00             | 3121.05   | RESERVA         | 0.00     |  |  |
| SUMA  | 47852.35 | 2128.60   | 1490.02 | 3070.93       | 422.21       | 23926.17 | 20433.04 | 22968.53         | 30199.15  |                 | 18791.53 |  |  |

Tabla 29. Cálculo de condiciones de almacenamiento de laguna (caso laguna 3).

### 3.5.5.2 Regulación

Según Campos Aranda en "Introducción a la Hidrología Urbana", Cuando el estanque de detención drena una cuenca urbana" menor que 61 hectáreas (150 acres), la consideración de lluvia uniforme sobre ella es aceptable para estimaciones del volumen de escurrimiento. Entonces, el almacenamiento requerido en un estanque de detención que drena una cuenca pequeña, puede ser estimado de manera directa por la diferencia entre los volúmenes de entrada y salida. Esta aproximación conocida como *método volumétrico*, implica aceptar al método Racional y considerar por simplicidad hidrogramas triangulares o trapezoidales

### Método basado en las curvas IDF

Aplicación del método.

El valor máximo de las diferencias  $V_e - V_s$  es el volumen requerido para regulación, en las tablas esta rellena la celda que contiene este valor, y en la primera columna se encuentra la duración correspondiente a la que ocurre este volumen máximo.

En la tabla se pide proporcionar el periodo de retorno y al introducirlo nos da el gasto correspondiente de entrada  $Q_e$ , el siguiente dato solicitado en la tabla es el gasto de salida  $Q_s$  o gasto controlado que se quiere tener en el sistema de regulación. Generalmente la selección del periodo de retorno para la regulación en cuencas urbanas, se basa en el gasto generado por los escurrimientos de la cuenca, antes de la urbanización, en este caso se trata de una cuenca sin urbanizar, y que no se va a urbanizar. Para este proyecto se está proponiendo un gasto controlado equivalente a 2 años de periodo de retorno, sólo con el objetivo de mitigar los efectos de la urbanización de cuencas vecinas, este gasto controlado representa el 42% del gasto de entrada proporcionado por la tormenta de diseño de periodo de retorno de 100 años. Lo anterior se puede traducir a que una tormenta de periodo de retorno de 100 años tendrá un impacto equivalente a una de periodo de retorno de 2 años y se tendrá capacidad para evacuar tormentas de un periodo de retorno mayor a 100 años, ya que en casos extremos pudieran funcionar de manera simultánea la descarga controlada y el vertedor de excedencias.

En la gráfica debajo de cada tabla se puede ver como al momento que el volumen entrante es menor que el saliente, la tabla tiene volumen requerido igual a cero, esto porque el volumen almacenado comienza a disminuir y ya no se requiere capacidad de almacenamiento. También es visible donde ocurre la máxima diferencia que representa el volumen requerido, que es donde la gráfica del volumen entrante se encuentra más separada del volumen saliente, estando la primera por encima de la segunda.

#### Laguna 1

| CÁLCULO DE VOLUMEN REQUERIDO PARA REGULACIÓN               |                        |                                       |                                       |  |
|--|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Proporcione periodo de retorno y gasto de descarga deseado |                        |                                       |                                       |  |
| Tr=  | 100 años               |                                       |                                       |  |
| Qe=  | 1.63 m <sup>3</sup> /S | LAGUNA 1                              |                                       |  |
| Qs=  | 0.55 m <sup>3</sup> /S |                                       |                                       |  |
| C=   | 0.43                   |                                       |                                       |  |
| A=   | 3.70 ha                |                                       |                                       |  |
| a=   | 0.34                   |                                       |                                       |  |
| k=   | 0.89                   |                                       |                                       |  |
| Volumen requerido =  |                        | 500.61                                | m <sup>3</sup>                        |  |
| Duración (min)   | Intensidad (mm/h)      | Volumen entrante Ve (m <sup>3</sup> ) | Volumen saliente Vs (m <sup>3</sup> ) | Volumen requerido Vr (m <sup>3</sup> ) |
| 5  | 385.32                 | 515.51                                | 147.60                                | 367.92                                 |
| 10   | 288.39                 | 771.66                                | 295.19                                | 476.46                                 |
| 15   | 235.05                 | 943.41                                | 442.79                                | 500.61                                 |
| 20   | 201.11                 | 1076.27                               | 590.39                                | 485.88                                 |
| 25   | 177.31                 | 1186.10                               | 737.99                                | 448.12                                 |
| 30   | 159.52                 | 1280.51                               | 885.58                                | 394.93                                 |
| 35   | 145.62                 | 1363.76                               | 1033.18                               | 330.58                                 |
| 40   | 134.40                 | 1438.51                               | 1180.78                               | 257.73                                 |
| 45   | 125.12                 | 1506.55                               | 1328.38                               | 178.17                                 |
| 50   | 117.28                 | 1569.13                               | 1475.97                               | 93.16                                  |
| 60   | 104.73                 | 1681.40                               | 1771.17                               | 0.00                                   |
| 80   | 87.32                  | 1869.29                               | 2361.56                               | 0.00                                   |
| 100  | 75.66                  | 2024.63                               | 2951.95                               | 0.00                                   |
| 120  | 67.21                  | 2158.14                               | 3542.34                               | 0.00                                   |
| 150  | 58.05                  | 2330.04                               | 4427.92                               | 0.00                                   |
| 180  | 51.44                  | 2477.80                               | 5313.51                               | 0.00                                   |

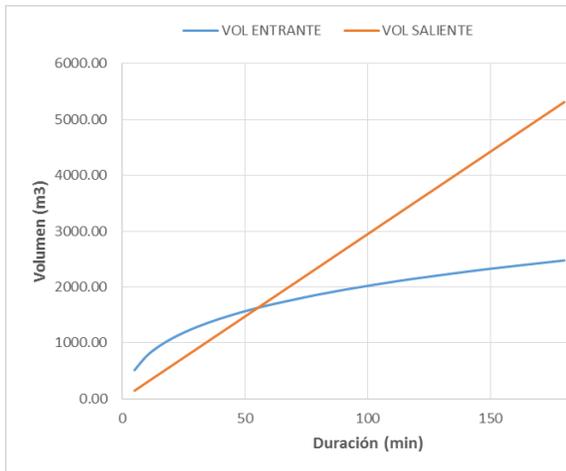


Figura 27. Regulación laguna 1

## Laguna 2

| CÁLCULO DE VOLUMEN REQUERIDO PARA REGULACIÓN               |                        |                                       |                                       |  |
|--|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Proporcione periodo de retorno y gasto de descarga deseado |                        |                                       |                                       |  |
| Tr=  | 100 años               |                                       |                                       |  |
| Qe=  | 4.84 m <sup>3</sup> /S |                                       | LAGUNA 2                              |  |
| Qs=  | 1.64 m <sup>3</sup> /S |                                       |                                       |  |
| C=   | 0.63                   |                                       |                                       |  |
| A=   | 17.32 ha               |                                       |                                       |  |
| a=   | 0.34                   |                                       |                                       |  |
| k=   | 0.89                   |                                       |                                       |  |
| Volumen requerido =  |                        | 6306.55 m <sup>3</sup>                |                                       |  |
| Duración (min)   | Intensidad (mm/h)      | Volumen entrante Ve (m <sup>3</sup> ) | Volumen saliente Vs (m <sup>3</sup> ) | Volumen requerido Vr (m <sup>3</sup> ) |
| 5  | 385.32                 | 3506.30                               | 437.82                                | 3068.48                                |
| 10   | 288.39                 | 5248.49                               | 875.63                                | 4372.85                                |
| 15   | 235.05                 | 6416.65                               | 1313.45                               | 5103.20                                |
| 20   | 201.11                 | 7320.30                               | 1751.26                               | 5569.04                                |
| 25   | 177.31                 | 8067.38                               | 2189.08                               | 5878.30                                |
| 30   | 159.52                 | 8709.50                               | 2626.90                               | 6082.60                                |
| 35   | 145.62                 | 9275.70                               | 3064.71                               | 6210.99                                |
| 40   | 134.40                 | 9784.13                               | 3502.53                               | 6281.60                                |
| 45   | 125.12                 | 10246.89                              | 3940.35                               | 6306.55                                |
| 50   | 117.28                 | 10672.56                              | 4378.16                               | 6294.40                                |
| 60   | 104.73                 | 11436.16                              | 5253.79                               | 6182.37                                |
| 80   | 87.32                  | 12714.12                              | 7005.06                               | 5709.06                                |
| 100  | 75.66                  | 13770.65                              | 8756.32                               | 5014.33                                |
| 120  | 67.21                  | 14678.74                              | 10507.59                              | 4171.15                                |
| 150  | 58.05                  | 15847.98                              | 13134.48                              | 2713.49                                |
| 180  | 51.44                  | 16852.94                              | 15761.38                              | 1091.56                                |

Tabla 30. Calculo hidrológico de regulación.

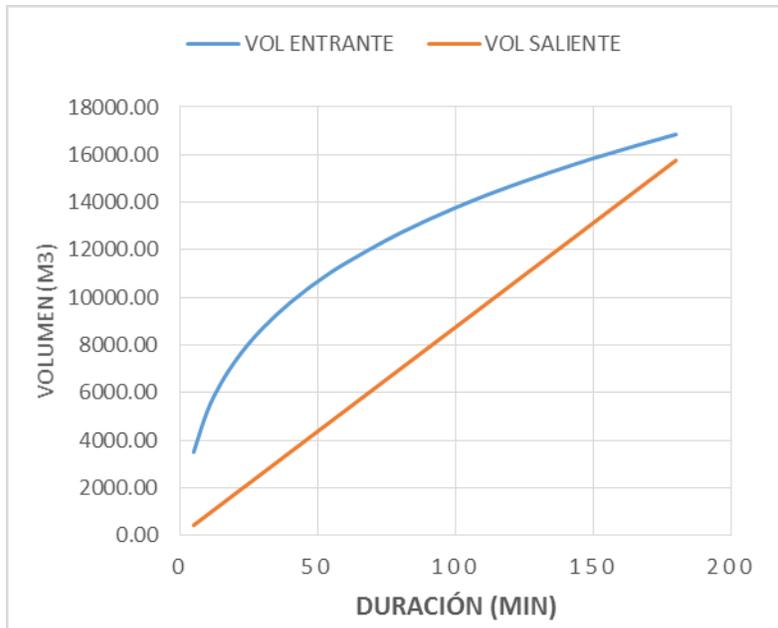


Figura 28. Regulación laguna 2

De los resultados anteriores se utilizará el volumen requerido para calcular la carga hidráulica con la que operará la descarga de regulación, que se obtiene dividiendo el volumen requerido entre la superficie de almacenamiento.

### 3.5.6 Diseño hidráulico

#### 3.5.6.1 Captación

Para la parte de captación se diseñaron las secciones de canal más críticas, que son prácticamente las más próximas a la laguna, ya que en esta se puede considerar que el canal conduce el 100% del gasto que capta la cuenca correspondiente al mismo. Otra parte que se revisó en el diseño, son las secciones con mayor pendiente, con el objetivo de verificar que no se rebasen las velocidades permitidas para las características de los canales considerados en el proyecto.

La cuenca que comprende el parque ecológico tiene una superficie muy plana, lo que obliga a contar con una red de cauces para conducir el agua hasta las lagunas de almacenamiento. Dentro de esta red de cauces se definieron algunos cauces principales partiendo principalmente de los cauces existentes que actualmente están activos, y empatando estos últimos con las condiciones topográficas e infraestructura existente.

Con el análisis anterior se adoptó el criterio para estimar en cada sub-cuenca, los porcentajes de área que aportan agua a cada cauce y a cada tramo dentro de los cauces, definiendo así, los gastos de diseño para cada cauce y tramo. Finalmente, dependiendo de las dimensiones de cada sub-cuenca se definieron algunas secciones como:

**Cauce principal-** Es el tramo o tramos de cauces más próximos a la laguna; son los de mayores dimensiones.

Cauce secundario- Son los que continúan aguas arriba del cauce principal, cuyas secciones son más pequeñas que el principal.

Cauce general- Son los cauces más pequeños que interceptan los escurrimientos de pequeñas áreas para alimentar tanto a cauces secundarios como principales.

Cabe mencionar que de estos últimos no se considerarán muchos porque el principio de los sistemas de captación en zonas urbanas es que el agua permanezca en lo posible sobre superficies permeables para favorecer el almacenamiento en el suelo.

En el diseño de algunos canales de captación se consideró un coeficiente de rugosidad de .02 que corresponde a acabados de mampostería, ya que no está completamente claro para el departamento de diseño el acabado final, esta consideración se hace porque estéticamente el acabado en concreto normal no es la mejor opción. En los tramos de canal donde el gasto demanda una sección muy grande, se está considerando la propuesta de acabado en concreto planeado con un coeficiente de rugosidad de .014, con la finalidad de reducir las secciones y asumiendo que son tramos relativamente cortos. El resto de los datos introducidos en los cálculos son solo características de la sección como talud y ancho del fondo del canal.

#### Diseño de captación para laguna 1

##### Sub-cuenca 1

Los gastos que se obtuvieron considerando los criterios expuestos son los siguientes:

| <b>Gastos de diseño para cauces de laguna 1</b> |  |      |                   |
|---|--|------|-------------------|
| <b>Principal</b>                                |  | 1.09 | m <sup>3</sup> /s |
| <b>Secundario</b>                               |  | 0.54 | m <sup>3</sup> /s |
| <b>General</b>                                  |  | 0.27 | m <sup>3</sup> /s |

Para el diseño de los canales se utilizó el programa especializado HCANALES, introduciendo la información o datos con que se cuenta, en el cuadro de datos como se muestra en seguida:

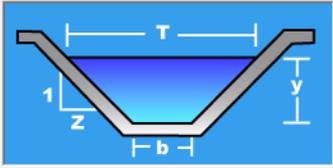
# 1. Canal principal

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **Culiacán Sinaloa** Proyecto: **Parque Ecológico**  
 Tramo:  Revestimiento: **Mampostería**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: **Subcrítico**

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ingresar el tipo de material del canal 06:39 p. m. 14/07/2018

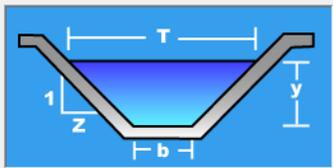
# Canal secundario

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **Culiacán Sinaloa** Proyecto: **Parque Ecológico**  
 Tramo:  Revestimiento: **Mampostería**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: **Subcrítico**

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ingresar el tipo de material del canal 06:41 p. m. 14/07/2018

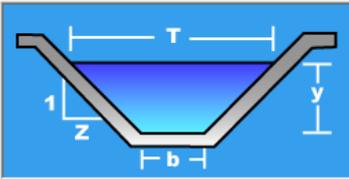
## Canal general

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

|                                |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Lugar: <b>Culiacán Sinaloa</b> | Proyecto: <b>Parque Ecológico</b> |
| Tramo: <input type="text"/>    | Revestimiento: <b>Mampostería</b> |

|  |  |
|--|--|
| <b>Datos:</b>  |  |
| Caudal (Q): <input type="text" value=".27"/> m <sup>3</sup> /s |  |
| Ancho de solera (b): <input type="text" value=".5"/> m         |  |
| Talud (Z): <input type="text" value="1"/>                      |  |
| Rugosidad (n): <input type="text" value=".02"/>                |  |
| Pendiente (S): <input type="text" value=".001"/> m/m           |  |



|   |   |
|---|---|
| <b>Resultados:</b>  |   |
| Tirante normal (y): <input type="text" value="0.4570"/> m               | Perímetro (p): <input type="text" value="1.7926"/> m                |
| Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.4373"/> m <sup>2</sup> | Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.2440"/> m         |
| Espejo de agua (T): <input type="text" value="1.4140"/> m               | Velocidad (v): <input type="text" value="0.6174"/> m/s              |
| Número de Froude (F): <input type="text" value="0.3544"/>               | Energía específica (E): <input type="text" value="0.4764"/> m-Kg/Kg |
| Tipo de flujo: <b>Subcrítico</b>  |   |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <br>Calcular | <br>Limpiar Pantalla | <br>Imprimir | <br>Menú Principal |
|--|--|--|--|

|  |             |            |
|--|-------------|------------|
| Ingresar el tipo de material del canal | 06:43 p. m. | 14/07/2018 |
|--|-------------|------------|

Figura 29. Reporte de diseño de canales de laguna 1

### Diseño de decantador.

Tomando en cuenta que aproximadamente un 90% de la cuenca estará cubierto de áreas verdes y superficies impermeables, los escurrimientos no arrastran grandes cantidades de sólidos finos, por lo que no es factible la construcción de un sedimentador, en costo-beneficio. En este caso se propone un decantador cuyo objetivo es lograr la decantación de partículas de arenas mayor .4 mm de diámetro y con capacidad de funcionamiento para lluvias frecuentes ( $T_r=2$  años).

Las cantidades en amarillo son las que se introducen como datos en la tabla de Excel que se muestra y las otras tres se calculan.

Q- Gasto de diseño

D- Diámetro mínimo de partículas a decantar

h- Altura

f- Factor de seguridad

V<sub>h</sub>- Velocidad horizontal dentro del decantador

Vd- Velocidad de decantación

A-Área de la sección transversal

W- Ancho

Ld- Longitud del decantador

| Laguna 1                          |       |                   |
|-----------------------------------|-------|-------------------|
| Dimensiones mínimas de decantador |       |                   |
| Q=                                | 0.368 | m <sup>3</sup> /s |
| D=                                | 0.4   | mm                |
| h=                                | 1.2   | m                 |
| f=                                | 2     |                   |
| Vh=                               | 0.15  | m/s               |
| Vd                                | 0.056 | m/s               |
| A=                                | 2.45  | m <sup>2</sup>    |
| W=                                | 2.05  | m                 |
| Ld=                               | 6.43  | m                 |

Tabla 31. Decantador laguna 1

En el sub-capítulo de gastos de diseño se determinó que el gasto pico de la tormenta de diseño con periodo de retorno de 100 años para la sub-cuenca 1 es de 1.63 m<sup>3</sup>/s, para el cual se diseñó el vertedor de entrada a la laguna.

Variables que aparecen en la tabla siguiente, y que se utilizan para el diseño de todos los vertedores de emergencia y de regulación:

Q- Gasto de diseño

L- Longitud del vertedor

h+Hd – Tirante del canal de llamada

Cd- Coeficiente de descarga

He- Carga sobre el vertedor, incluyendo altura de velocidad

Va- Velocidad de aproximación

Ha- Altura de velocidad

Hd- Carga efectiva del vertedor sin altura de velocidad

h- Altura de cimacio

C- Coeficiente de descarga corregido

| VERTEDOR                            |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| Ingrese datos de celdas en amarillo |                        |
| Laguna                              | 1                      |
| Q=                                  | 1.65 m <sup>3</sup> /s |
| L=                                  | 8 m                    |
| h+Hd=                               | 1.2 m                  |
| Cd=                                 | 2                      |
| He=                                 | 0.22 m                 |
| Va=                                 | 0.17 m/s               |
| Ha=                                 | 0.00 m                 |
| Hd=                                 | 0.22 m                 |
| h=                                  | 0.98 m                 |

Laguna 2

Sub-cuenca 2

Basándose en los mismos criterios se obtuvieron los gastos de la siguiente tabla:

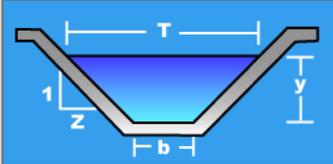
| Gastos de diseño para cauces de laguna 2, sub-cuenca 2 |                        |
|--|------------------------|
| Principal  | 2.27 m <sup>3</sup> /s |
| Secundario   | 1.14 m <sup>3</sup> /s |
| General  | 0.57 m <sup>3</sup> /s |

Canal principal

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Culiacán Sinaloa Proyecto: Parque Ecológico  
Tramo: Revestimiento: Concreto

**Datos:**  
Caudal (Q): 2.27 m<sup>3</sup>/s  
Ancho de solera (b): 2 m  
Talud (Z): 1  
Rugosidad (n): .014  
Pendiente (S): .001 m/m



**Resultados:**  
Tirante normal (y): 0.6483 m Perímetro (p): 3.8336 m  
Área hidráulica (A): 1.7169 m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R): 0.4478 m  
Espejo de agua (T): 3.2966 m Velocidad (v): 1.3222 m/s  
Número de Froude (F): 0.5849 Energía específica (E): 0.7374 m-Kg/Kg  
Tipo de flujo: Subcrítico

Calculador Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Realiza la impresión de la pantalla 07:04 p. m. 14/07/2018

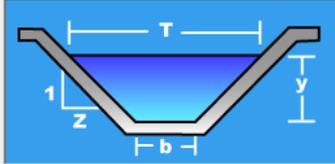
## Canal secundario

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo:

Ingresar el tipo de material del canal 07:17 p. m. 14/07/2018

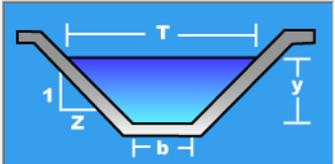
## Canal general

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo:

Ejecuta las operaciones 07:20 p. m. 14/07/2018

Figura 30. Reporte de cálculo de canales de laguna 2

Se propone un decantador cuyo objetivo es lograr la decantación de partículas de arenas de alrededor de .4 mm de diámetro y con capacidad de funcionamiento para lluvias frecuentes (Tr=2 años).

| Laguna 2, Sub-cuenca 2                   |                        |
|--|------------------------|
| <b>Dimensiones mínimas de decantador</b> |                        |
| Q=                                       | 0.77 m <sup>3</sup> /s |
| D=                                       | 0.4 mm                 |
| h=                                       | 1.2 m                  |
| f=                                       | 2                      |
| Vh=                                      | 0.28 m/s               |
| Vd                                       | 0.056 m/s              |
| A=                                       | 2.74 m <sup>2</sup>    |
| W=                                       | 2.29 m                 |
| Ld=                                      | 12 m                   |

Tabla 32. Decantador laguna 2

En el sub-capítulo de gastos de diseño se determinó que el gasto pico de la tormenta de diseño con periodo de retorno de 100 años para la sub-cuenca 1 es de 2.27 m<sup>3</sup>/s, para el cual se diseñó el vertedor de entrada a la laguna.

| VERTEDOR                                   |                        |
|--|------------------------|
| <b>Ingrese datos de celdas en amarillo</b> |                        |
| Laguna                                     | 2                      |
| Q=   | 2.27 m <sup>3</sup> /s |
| L=   | 6 m                    |
| h+Hd=                                      | 2.5 m                  |
| Cd=  | 2                      |
| He=  | 0.33 m                 |
| Va=  | 0.15 m/s               |
| Ha=  | 0.00 m                 |
| Hd=  | 0.33 m                 |
| h=   | 2.17 m                 |

Laguna 2

Sub-cuenca 3

| Gastos de diseño para cauces de laguna 2, sub-cuenca 3 |                        |
|--|------------------------|
| Principal  | 2.57 m <sup>3</sup> /s |
| Secundario   | 0.86 m <sup>3</sup> /s |
| General  | 0.43 m <sup>3</sup> /s |

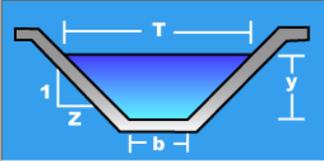
## Canal principal

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo:

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ingresar el tipo de material del canal 07:37 p. m. 14/07/2018

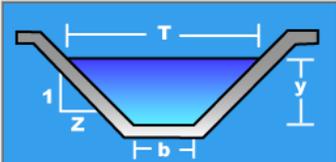
## Canal secundario 1

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo:

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ejecuta las operaciones 07:43 p. m. 14/07/2018

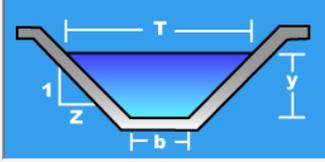
## Canal secundario 2

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **Culiacán Sinaloa** Proyecto: **Parque Ecológico**  
 Tramo:  Revestimiento: **Mampostería**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: **Subcrítico**

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Retorna al Menú principal 07:45 p. m. 14/07/2018

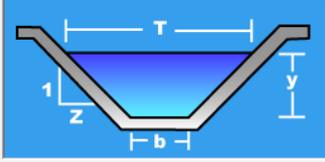
## Canal general

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **Culiacán Sinaloa** Proyecto: **Parque Ecológico**  
 Tramo:  Revestimiento: **Mampostería**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: **Subcrítico**

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Limpia la pantalla para realizar nuevos cálculos 07:47 p. m. 14/07/2018

Figura 31. Reporte de cálculo de canales de subcuenca 3

## Diseño de decantador

Se propone un decantador cuyo objetivo es lograr la decantación de partículas de arenas de alrededor de .4 mm de diámetro y con capacidad de funcionamiento para lluvias frecuentes ( $T_r=2$  años).

| laguna 2, sub-cuenca 3            |       |                   |
|-----------------------------------|-------|-------------------|
| Dimensiones mínimas de decantador |       |                   |
| Q=                                | 0.87  | m <sup>3</sup> /s |
| D=                                | 0.4   | mm                |
| h=                                | 1.2   | m                 |
| f=                                | 2     |                   |
| V <sub>h</sub> =                  | 0.3   | m/s               |
| V <sub>d</sub>                    | 0.056 | m/s               |
| A=                                | 2.90  | m <sup>2</sup>    |
| W=                                | 2.42  | m                 |
| L <sub>d</sub> =                  | 12.86 | m                 |

Tabla 33. Decantador2, laguna 2

En el sub-capítulo de gastos de diseño se determinó que el gasto pico de la tormenta de diseño con periodo de retorno de 100 años para la sub-cuenca 1 es de 2.57 m<sup>3</sup>/s, para el cual se diseñó el vertedor de entrada a la laguna.

| VERTEDOR                            |      |                   |
|-------------------------------------|------|-------------------|
| Ingrese datos de celdas en amarillo |      |                   |
| Laguna                              | 2    |                   |
| Q=                                  | 2.59 | m <sup>3</sup> /s |
| L=                                  | 6    | m                 |
| h+H <sub>d</sub> =                  | 2.5  | m                 |
| C <sub>d</sub> =                    | 2    |                   |
| H <sub>e</sub> =                    | 0.36 | m                 |
| V <sub>a</sub> =                    | 0.17 | m/s               |
| H <sub>a</sub> =                    | 0.00 | m                 |
| H <sub>d</sub> =                    | 0.36 | m                 |
| h=                                  | 2.14 | m                 |

Tabla 34. Vertedor de entrada, laguna 2

### 3.5.6.2 Descarga de regulación

#### Laguna 1

Tomando los datos del diseño hidrológico de regulación, donde el gasto de salida de diseño es  $Q_s=.55$  m<sup>3</sup>/s, el volumen requerido para lograr la regulación es de 755 m<sup>3</sup>, y utilizando la curva E-V, introduciendo el nivel de la corona del vertedor y proponiendo h, hasta lograr que  $dv$  sea muy aproximado a 755 m<sup>3</sup>, la diferencia de alturas  $h_2-h_1$  representa el tirante de

almacenamiento necesario igual a .51m necesario para almacenar el volumen requerido, que es la carga máxima con la que operará el vertedor regulador.

| LAGUNA 1 |           |           |      |
|----------|-----------|-----------|------|
| i        | Elevación | Volumen   | Area |
| 0        | 71        | 0         | 945  |
| 1        | 71.3      | 296.25    | 1030 |
| 2        | 71.6      | 618.3     | 1117 |
| 3        | 71.9      | 966.75    | 1206 |
| 4        | 72.2      | 1342.2    | 1297 |
| 5        | 72.5      | 1745.1    | 1389 |
| 6        | 72.8      | 2175.9    | 1483 |
| 7        | 73.1      | 2635.05   | 1578 |
| 8        | 73.4      | 3123      | 1675 |
| 9        | 73.7      | 3640.35   | 1774 |
| 10       | 74        | 4187.7    | 1875 |
| h1= 6    |           | 2177.2527 |      |
| h2= 7.7  |           | 2975.9042 |      |
| dv=      |           | 798.6515  |      |

Tabla 35. Cálculo de dv para cualquier dh, laguna 1

Con esta información y algunas características de almacenamiento de la laguna se puede diseñar un vertedor que cumpla con las condiciones de regulación obtenidas en el diseño hidrológico de la sección correspondiente.

Datos:

H=carga hidráulica

Q=gasto de diseño

L=ancho del vertedor

| LONGITUD DE VERTEDOR DE REGULACIÓN  |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| Ingrese datos de celdas en amarillo |                        |
| Laguna                              | 1                      |
| Q=                                  | 0.55 m <sup>3</sup> /s |
| L=                                  | 0.76 m                 |
| h+Hd=                               | 2.5 m                  |
| Cd=                                 | 2                      |
| He=                                 | 0.51 m                 |
| Va=                                 | 0.29 m/s               |
| Ha=                                 | 0.00 m                 |
| Hd=                                 | 0.51 m                 |
| h=                                  | 1.99 m                 |

Tabla 36. Vertedor de regulación, laguna 1

El diseño anterior da como resultado un vertedor con un ancho L=.76m, esta medida no se debe modificar porque la carga hidráulica de diseño de .51m debe cumplirse para lograr el almacenamiento requerido en el proceso de regulación.

El diseño anterior solo considera el vertedor funcionando con la carga de diseño de regulación, sin embargo, las condiciones críticas de diseño son cuando el vertedor de emergencias esté funcionando con el gasto de diseño. Esto significa que se tiene que hacer

una simulación para encontrar el equilibrio entre la descarga de regulación y la de emergencias, con el objeto de conocer el comportamiento de ambas descargas y saber para qué cargas hidráulicas se descarga el total del gasto pico de la tormenta de periodo de retorno mayor en el diseño.

En la tabla y gráfica siguiente se representa el funcionamiento del vertedor de emergencias y el de regulación de manera simultánea, donde se puede localizar el punto donde se logra descargar el total del gasto pico de la tormenta de periodo de retorno de 100 años ( $Q_s=1.64$  m<sup>3</sup>/s), así como la altura a la que el vertedor de emergencias inicia su funcionamiento al momento de que la regulación alcanza el gasto pico de diseño de .55 m<sup>3</sup>/s.

Funcionamiento de vertedor de regulación trabajando de manera simultánea con un vertedor de emergencias propuesto, con una longitud de 3m.

| Laguna 1                                   |                        |                        |                        |       |         |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|-------|---------|
| Funcionamiento de regulación y emergencias |                        |                        |                        |       |         |
| Vertedor de regulación                     |                        | Vertedor de emergencia |                        | TOTAL | Q libre |
| hr (m)                                     | Qr (m <sup>3</sup> /s) | he (m)                 | Qe (m <sup>3</sup> /s) |       |         |
| 0.1  | 0.05                   | 0                      | 0                      | 0.05  | 0.19    |
| 0.2  | 0.14                   | 0                      | 0                      | 0.14  | 0.54    |
| 0.3  | 0.25                   | 0                      | 0                      | 0.25  | 0.99    |
| 0.4  | 0.38                   | 0                      | 0                      | 0.38  | 1.52    |
| 0.5  | 0.54                   | 0                      | 0                      | 0.54  | 2.12    |
| 0.6  | 0.71                   | 0.09                   | 0.16                   | 0.87  | 2.79    |
| 0.7  | 0.89                   | 0.19                   | 0.5                    | 1.39  | 3.51    |
| 0.8  | 1.09                   | 0.29                   | 0.94                   | 2.03  | 4.29    |

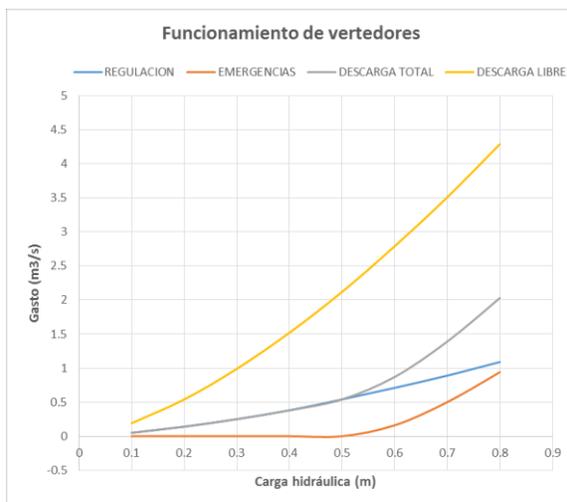


Figura 32. Vertedor de emergencias y regulación simultáneos, laguna 1

Con las gráficas de funcionamiento anterior y haciendo el tránsito de la avenida máxima en el vaso para distintos escenarios de funcionamiento, estimamos los gastos de diseño para los vertedores de regulación y de emergencias.

Tránsito de avenida máxima con ambos vertedores funcionando, considerando como nivel inicial de agua el nivel de corona del vertedor de regulación, con cuya carga se diseña en este caso la descarga de regulación, por considerarse la más crítica.

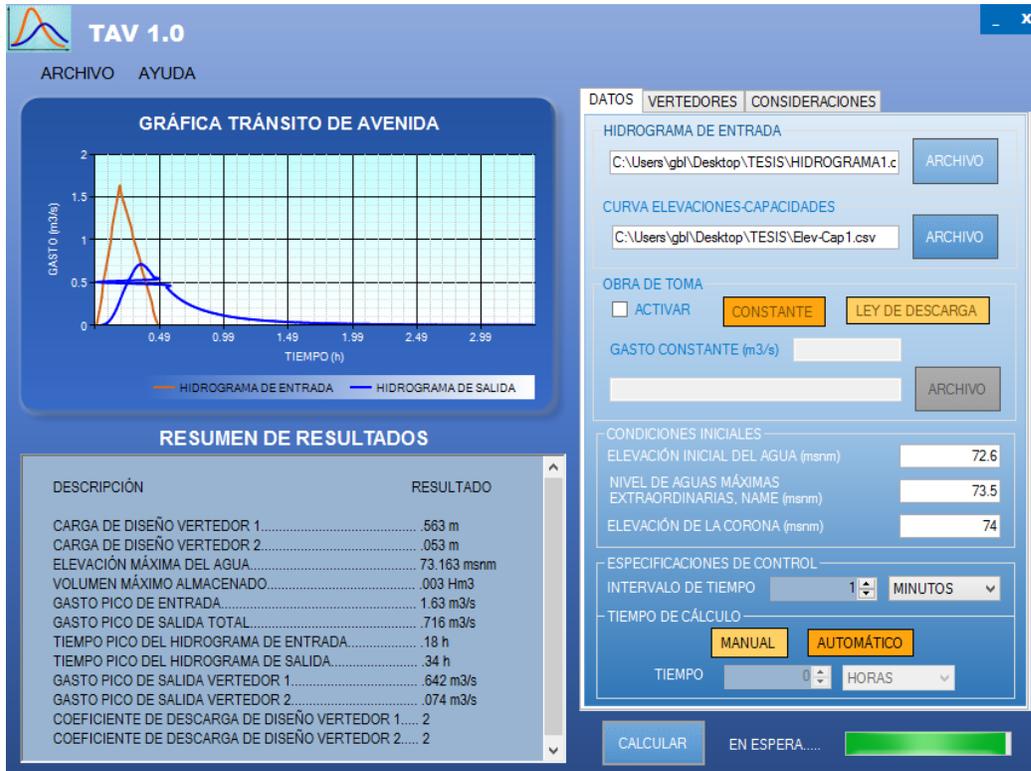


Figura 33. Tránsito de avenida máxima, laguna 1

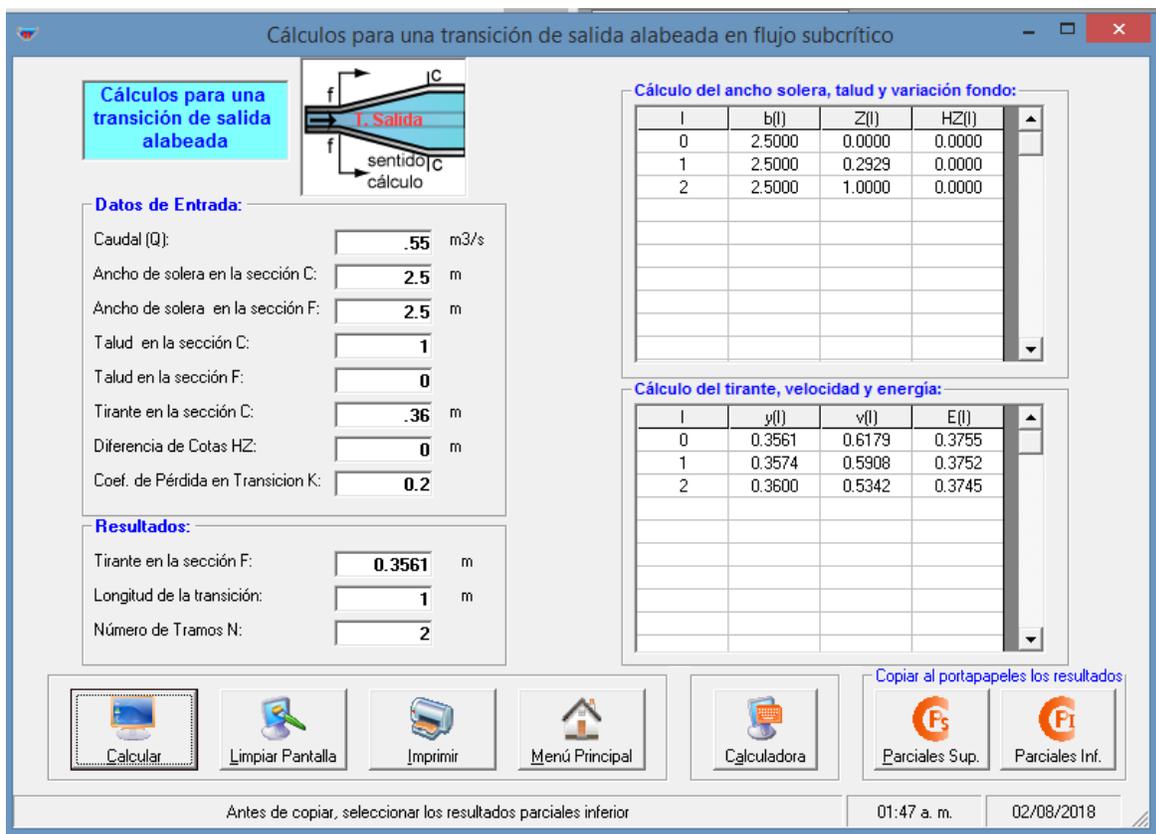
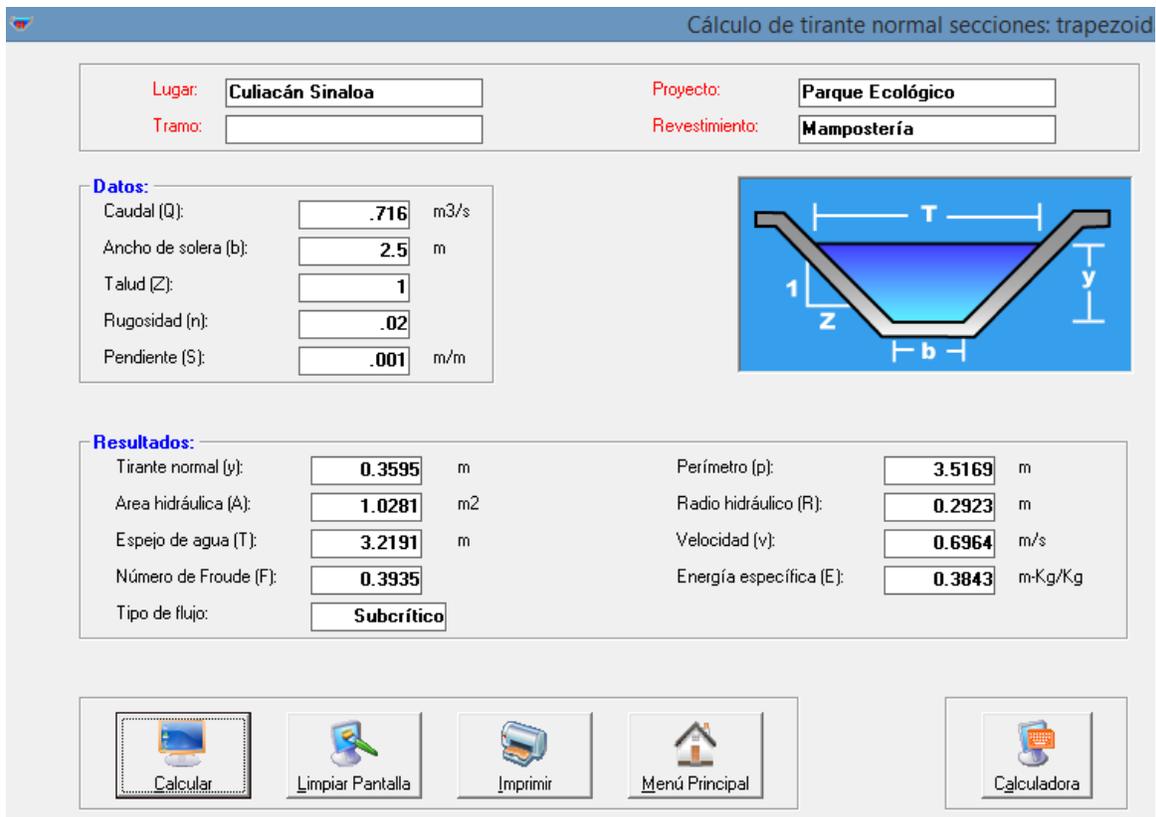
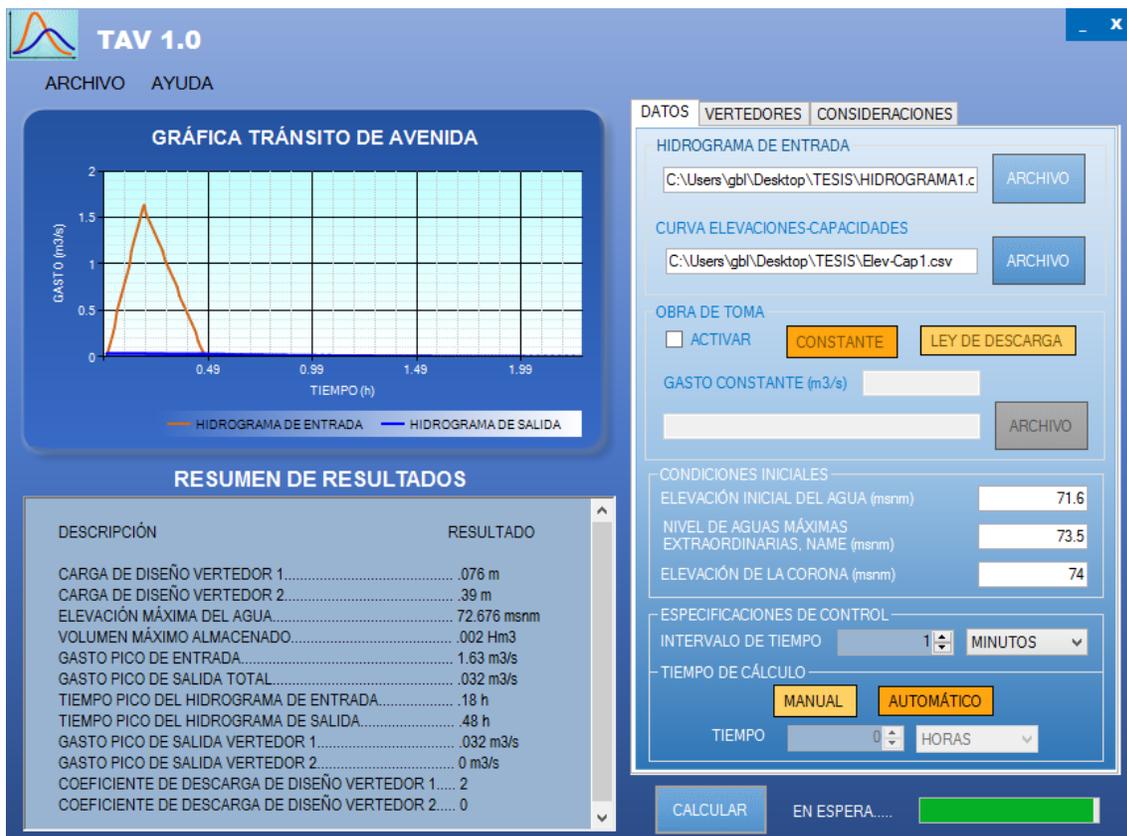


Figura 34. Diseño de descarga de regulación, laguna 1

Tránsito de avenida máxima con ambos vertedores funcionando, en el caso de tener disponible el volumen de almacenamiento para riego justo antes de la avenida. Como resultado se tiene que se alcanza a derramar una cantidad muy pequeña por el vertedor de regulación, lo que significa que operativamente se puede estar preparado para recibir una tormenta de esta magnitud vaciando previamente el estanque a este nivel.

En la última pantalla de resultados considerando completamente vacío el estanque es claro que ni alcanza a derramar agua ni uno de los vertedores, aunque estas condiciones no son las ideales porque uno de los objetivos del diseño es conservar un volumen la mayor parte del año.



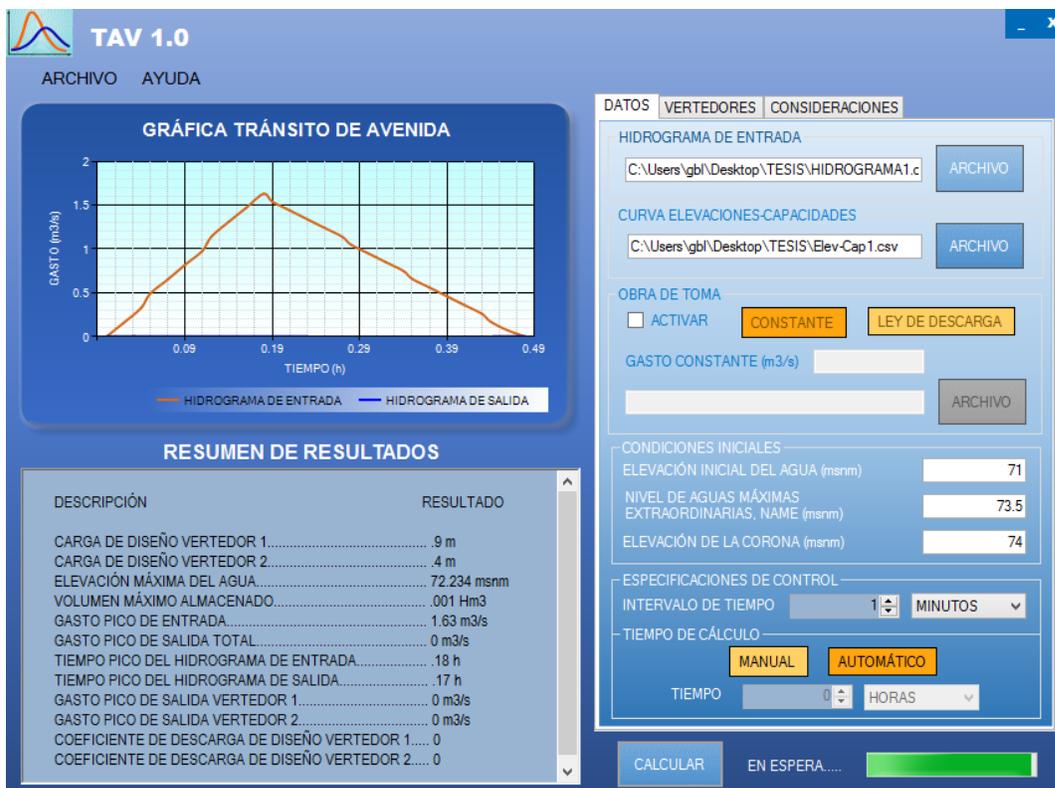


Figura 35. Tránsito de avenida máxima con volumen disponible, laguna 1

## Laguna 2

Tomando los datos del diseño hidrológico de regulación, donde el gasto de salida de diseño es  $Q_s=1.64 \text{ m}^3/\text{s}$ , el volumen requerido para lograr la regulación es de  $6167 \text{ m}^3$ , y utilizando la curva E-V, introduciendo el nivel de la corona del vertedor y proponiendo  $h$ , hasta lograr que  $dv$  sea muy aproximado a  $6167 \text{ m}^3$ , la diferencia de alturas  $h_2-h_1$  representa el tirante de almacenamiento necesario  $dv$  igual a  $.52 \text{ m}$  necesario para almacenar el volumen requerido, que es la carga máxima con la que operará el vertedor regulador.

| LAGUNA 2 |           |            |            |
|----------|-----------|------------|------------|
| i        | Elevación | Volumen    | Area       |
| 0        | 71        | 0          | 3356       |
| 1        | 71.3      | 1036.95    | 3557       |
| 2        | 71.6      | 2134.35    | 3759       |
| 3        | 71.9      | 3292.65    | 3963       |
| 4        | 72.2      | 4512.45    | 4169       |
| 5        | 72.5      | 5794.2     | 4376       |
| 6        | 72.501    | 5801.7575  | 10739      |
| 7        | 72.8      | 9068.183   | 11110      |
| 8        | 73.1      | 12457.133  | 11483      |
| 9        | 73.4      | 15958.283  | 11858      |
| 10       | 73.7      | 19572.233  | 12235      |
| 11       | 74        | 23299.433  | 12613      |
| 12       | 74.3      | 27140.333  | 12993      |
| 13       | 74.6      | 31095.533  | 13375      |
| h1=      | 9.33      | 16748.5394 |            |
| h2=      | 11.1      | 23261.845  |            |
|          |           | dv=        | 6513.30565 |

Tabla 37. Cálculo de  $dv$  para cualquier  $dh$ , laguna 2

Con esta información y algunas características de almacenamiento de la laguna se puede diseñar un vertedor que cumpla con las condiciones de regulación obtenidas en el diseño hidrológico.

Datos de la tabla siguiente:

H=carga hidráulica

Q=gasto de diseño

L=ancho del vertedor

El resto de los datos se definen en secciones anteriores.

| LONGITUD DE VERTEADOR DE REGULACIÓN |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| Ingrese datos de celdas en amarillo |                        |
| Laguna                              | 2                      |
| Q=                                  | 1.64 m <sup>3</sup> /s |
| L=                                  | 2.18 m                 |
| h+Hd=                               | 2.5 m                  |
| Cd=                                 | 2                      |
| He=                                 | 0.52 m                 |
| Va=                                 | 0.30 m/s               |
| Ha=                                 | 0.00 m                 |
| Hd=                                 | 0.52 m                 |
| h=                                  | 1.98 m                 |

Tabla 38. Vertedor de regulación, laguna 2

El diseño anterior da como resultado un vertedor con un ancho  $L=2.18\text{m}$ , esta medida no se debe modificar porque la carga hidráulica de diseño de  $.52\text{m}$  debe cumplirse para lograr el almacenamiento requerido en el proceso de regulación.

El diseño anterior solo considera el vertedor funcionando con la carga de diseño de regulación, sin embargo, las condiciones críticas de diseño son cuando el vertedor de emergencias esté funcionando con el gasto de diseño. Esto significa que se tiene que hacer una simulación para encontrar el equilibrio entre la descarga de regulación y la de emergencias, con el objeto de conocer el comportamiento de ambas descargas y saber para qué cargas hidráulicas se descarga el total del gasto pico de la tormenta de periodo de retorno mayor en el diseño.

En la tabla y gráfica siguiente se representa el funcionamiento del vertedor de emergencias y el de regulación de manera simultánea, donde se puede localizar el punto donde se logra descargar el total del gasto pico de la tormenta de periodo de retorno de 100 años ( $Q_s=4.84\text{ m}^3/\text{s}$ ), así como la altura a la que el vertedor de emergencias inicia su funcionamiento cuando el de regulación alcanza el gasto pico de regulación de  $1.64\text{ m}^3/\text{s}$ .

| Laguna 2                                   |           |                        |           |       |         |
|--|-----------|------------------------|-----------|-------|---------|
| Funcionamiento de regulación y emergencias |           |                        |           |       |         |
| Vertedor de regulación                     |           | Vertedor de emergencia |           | TOTAL | Q libre |
| hr (m)                                     | Qr (m3/s) | he (m)                 | Qe (m3/s) |       |         |
| 0.1  | 0.07      | 0                      | 0         | 0.07  | 0.25    |
| 0.2  | 0.2       | 0                      | 0         | 0.2   | 0.72    |
| 0.3  | 0.37      | 0                      | 0         | 0.37  | 1.31    |
| 0.4  | 0.57      | 0                      | 0         | 0.57  | 2.02    |
| 0.5  | 0.79      | 0                      | 0         | 0.79  | 2.83    |
| 0.6  | 1.04      | 0                      | 0         | 1.04  | 3.72    |
| 0.7  | 1.31      | 0                      | 0         | 1.31  | 4.69    |
| 0.8  | 1.6       | 0                      | 0         | 1.6   | 5.72    |
| 0.9  | 1.91      | 0.09                   | 0.22      | 2.13  | 6.83    |
| 1  | 2.24      | 0.19                   | 0.66      | 2.9   | 8       |
| 1.1  | 2.58      | 0.29                   | 1.25      | 3.83  | 9.23    |
| 1.2  | 2.94      | 0.39                   | 1.95      | 4.89  | 10.52   |

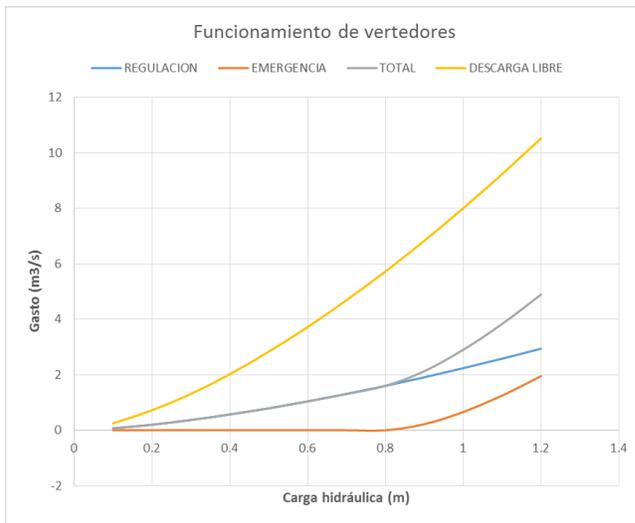


Figura 36. Vertedor de emergencias y regulación simultáneos, laguna 2

Con las gráficas de funcionamiento anterior y haciendo el tránsito de la avenida máxima en el vaso para distintos escenarios de funcionamiento, estimamos los gastos de diseño para los vertedores de regulación y de emergencias.

Tránsito de avenida máxima con ambos vertedores funcionando, considerando como nivel inicial de agua el nivel de corona del vertedor de regulación, con cuya carga se diseña en este caso la descarga de regulación, por considerarse la más crítica.

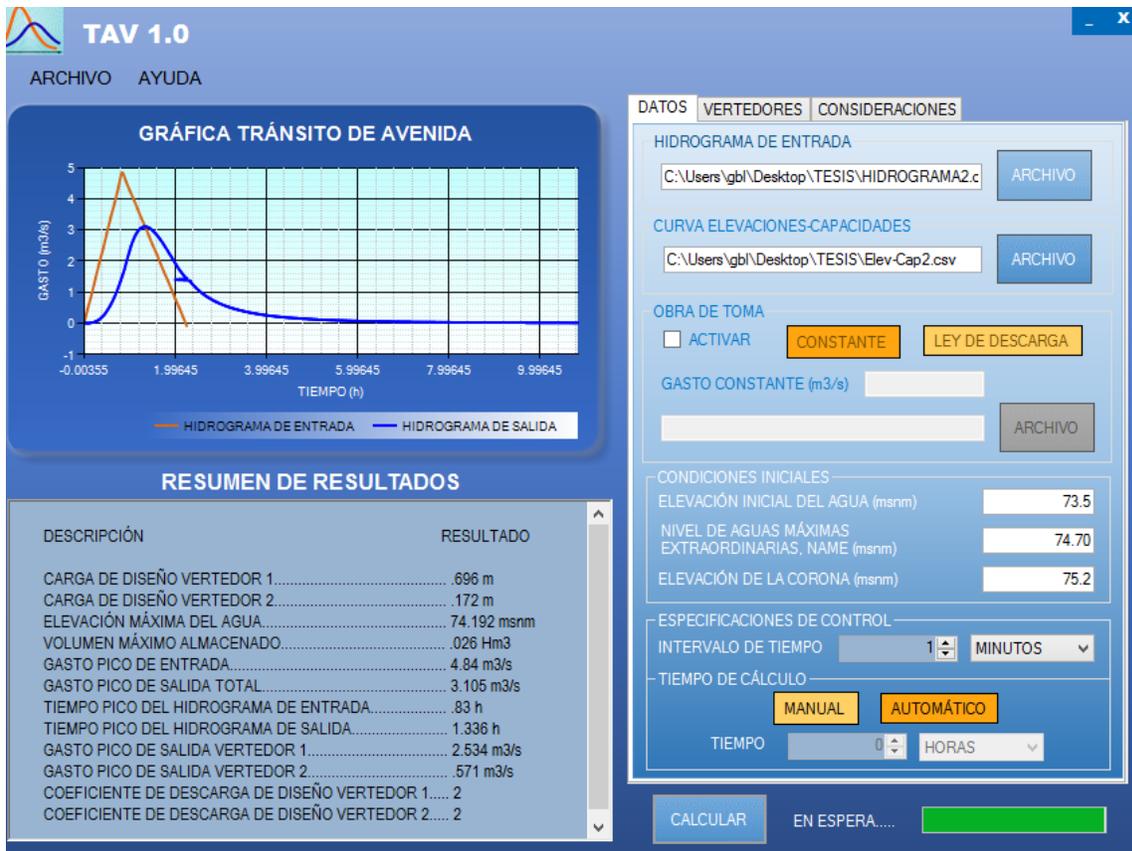


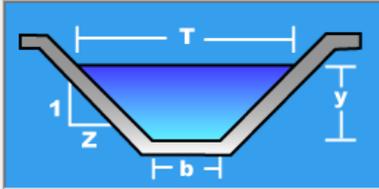
Figura 37. Tránsito de avenida máxima con ambos vertedores funcionando, laguna 2

Por considerar menos invasivas secciones pequeñas de canal dentro del parque, se diseñaron dos vertedores con descarga de 1 m<sup>3</sup>/s y con un coeficiente de rugosidad de .02 equivalente a una mampostería, para permitir al departamento de diseño decidir más libremente sobre el acabado en estos canales.

|        |   |                |   |
|--------|---|----------------|---|
| Lugar: | <input type="text" value="Culiacán Sinaloa"/> | Proyecto:      | <input type="text" value="Parque Ecológico"/> |
| Tramo: | <input type="text"/>                          | Revestimiento: | <input type="text" value="Mampostería"/>      |

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>Datos:</b>        |  |
| Caudal (Q):          | <input type="text" value="1"/> m <sup>3</sup> /s |
| Ancho de solera (b): | <input type="text" value="2"/> m                 |
| Talud (Z):           | <input type="text" value="1"/>                   |
| Rugosidad (n):       | <input type="text" value=".02"/>                 |
| Pendiente (S):       | <input type="text" value=".001"/> m/m            |

|                       |  |                         |   |
|-----------------------|--|-------------------------|---|
| <b>Resultados:</b>    |  |                         |   |
| Tirante normal (y):   | <input type="text" value="0.4967"/> m              | Perímetro (p):          | <input type="text" value="3.4049"/> m       |
| Area hidráulica (A):  | <input type="text" value="1.2401"/> m <sup>2</sup> | Radio hidráulico (R):   | <input type="text" value="0.3642"/> m       |
| Espejo de agua (T):   | <input type="text" value="2.9934"/> m              | Velocidad (v):          | <input type="text" value="0.8064"/> m/s     |
| Número de Froude (F): | <input type="text" value="0.4000"/>                | Energía específica (E): | <input type="text" value="0.5298"/> m-Kg/Kg |
| Tipo de flujo:        | <input type="text" value="Subcrítico"/>            |                         |   |

|  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|---|
|  Calcular |  Limpiar Pantalla |  Imprimir |  Menú Principal |  Calculadora |
|--|--|--|--|---|

Figura 38. Diseño de descarga de regulación, laguna 2

Tránsito de avenida máxima con ambos vertedores funcionando, en el caso de tener disponible el volumen de almacenamiento para riego justo antes de la avenida. Como resultado se tiene que se alcanza a derramar una cantidad de .801 m<sup>3</sup>/s por el vertedor de regulación, lo que significa que operativamente se puede estar preparado para recibir una tormenta de esta magnitud vaciando previamente el estanque a este nivel.

En la última pantalla de resultados considerando completamente vacío el estanque es claro que apenas alcanza a derramar .16 m<sup>3</sup>/s el vertedor de regulación, aunque estas condiciones no son las ideales porque uno de los objetivos del diseño es conservar un volumen la mayor parte del año.

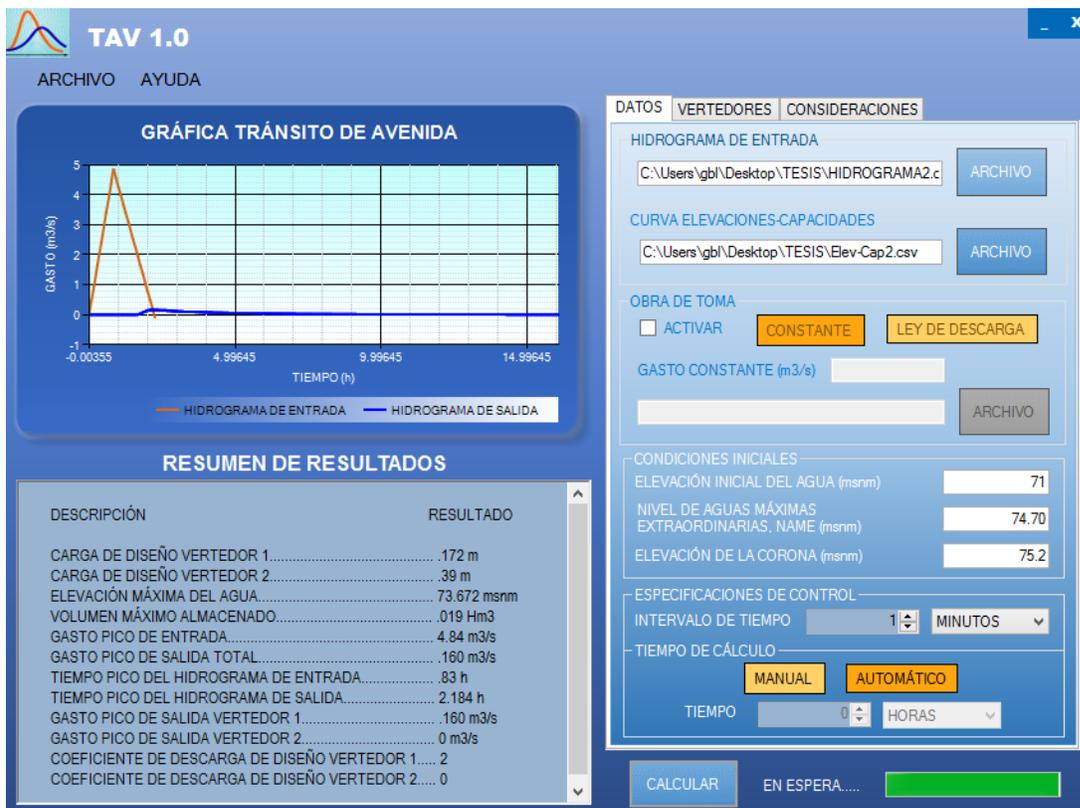
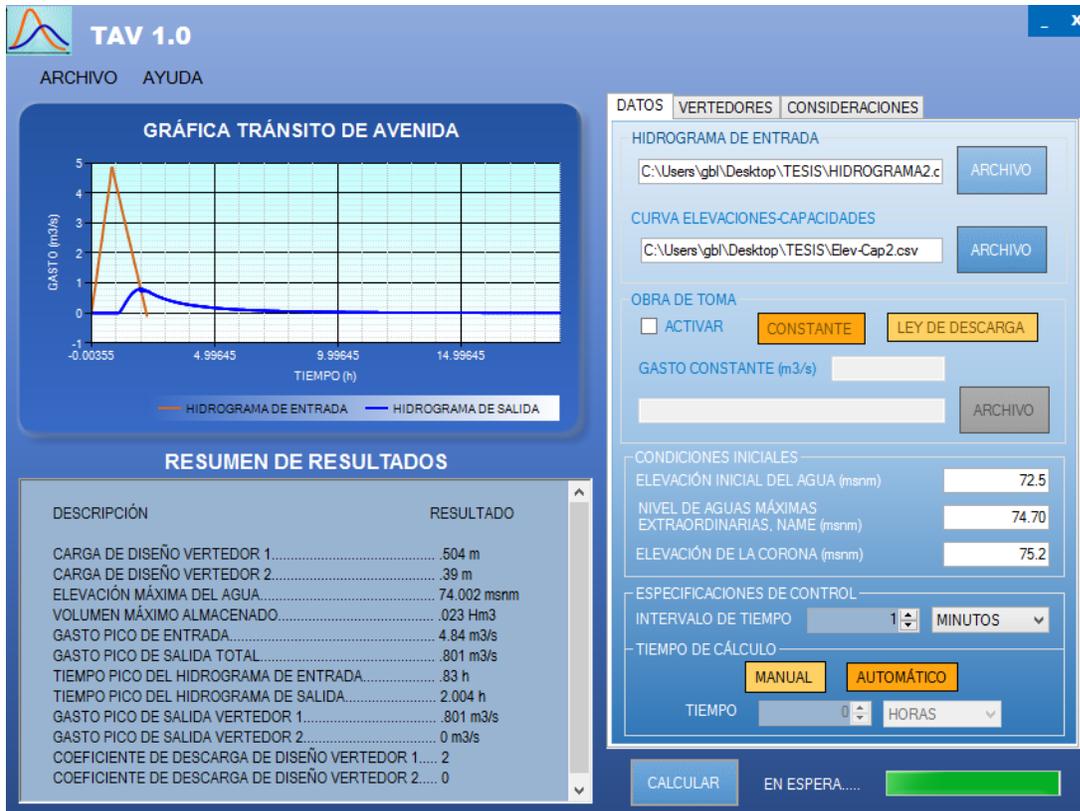


Figura 39. Tránsito de avenida máxima con volumen disponible, laguna 2

### 3.5.6.3 Obras de descarga

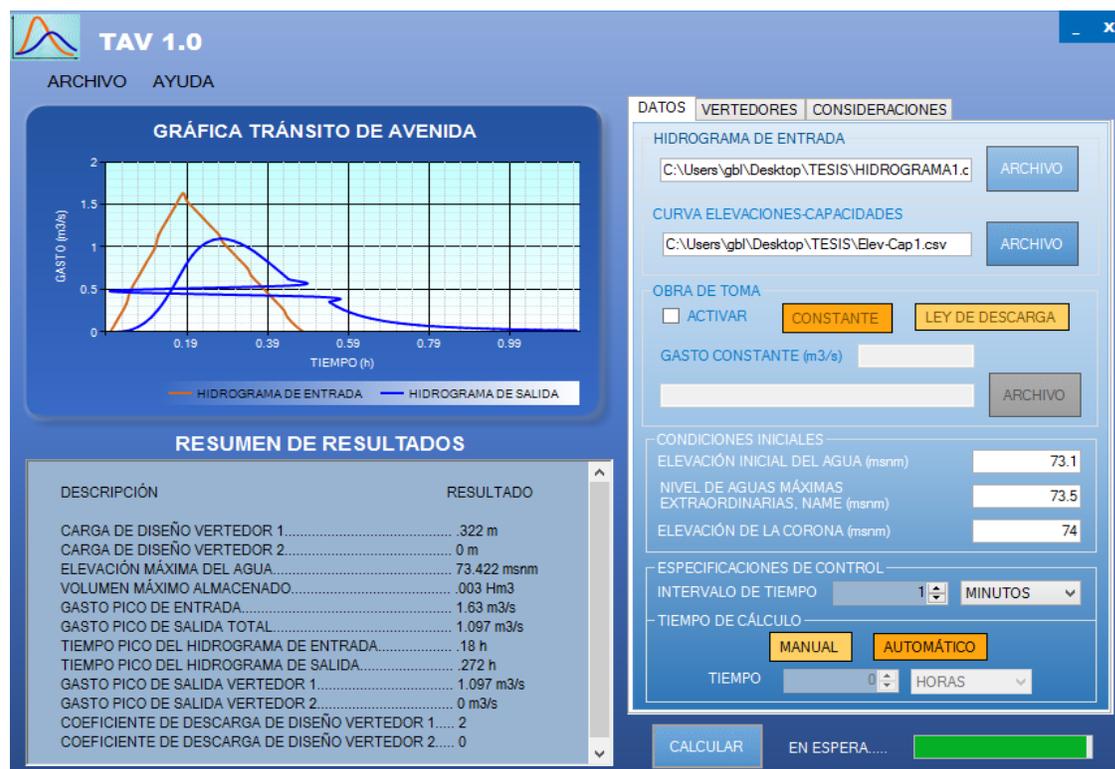
#### Vertedor de emergencias y canales de descarga

El diseño de las descargas, específicamente hablando de los niveles, tanto de vertedores de emergencias, como de descargas de regulación se hicieron partiendo de las cotas de referencia de la banqueta, que son los niveles a los que obligatoriamente tienen que descargar todos los escurrimientos. En el caso de las lagunas dos y tres se calculó en el orden que se mencionan; se inició con el canal de descarga de la laguna tres, siguiendo con la laguna tres, el canal de descarga de la laguna dos que conecta con la laguna tres, el estanque dos; donde los niveles de aguas máximos obedecen a los niveles de descarga de los canales de captación que vienen del interior de la cuenca.

Para todos los canales de descarga se está considerando acabado en concreto, con plana con el objeto de reducir un poco los tirantes del caudal en casos extremos y que no representen una amenaza por su profundidad.

#### Laguna 1

Tránsito de la avenida de diseño en el caso que se decidiera almacenar agua en el volumen de regulación, es decir, que se tuviera que descargar solo con el vertedor de emergencias con nivel inicial del agua al nivel de su corona. En el segundo cuadro se muestra el mismo caso pero con nivel inicial de agua igual al nivel de corona del vertedor regulador, en este caso se tiene disponible el volumen de regulación justo antes de la avenida. Para este último caso se hace el diseño de la descarga de emergencias, ya que el primero se puede evitar operativamente y sería muy costoso construir canales para el primer caso extremo.



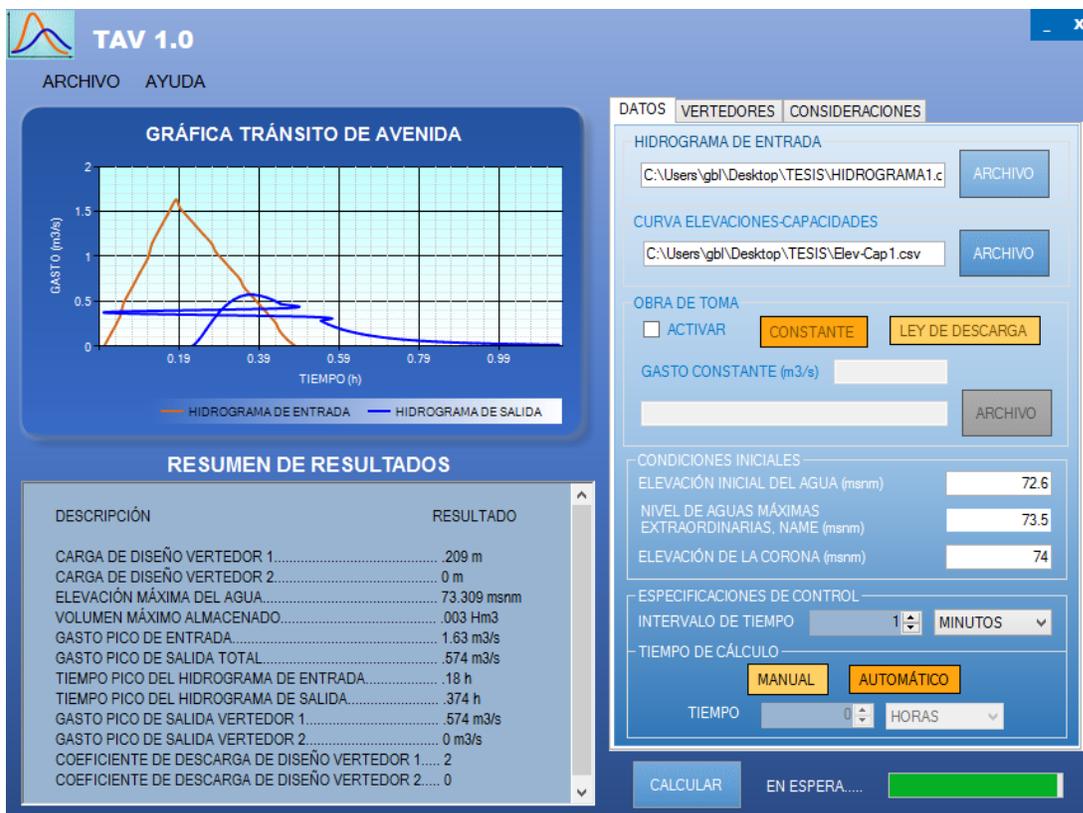


Figura 40. Tránsito de avenida sin considerar descarga de regulación, laguna 1

| VERTEDOR                                   |           |
|--|-----------|
| <b>Ingrese datos de celdas en amarillo</b> |           |
| Laguna                                     | 1         |
| Q=   | 0.59 m3/s |
| L=   | 2 m       |
| h+Hd=                                      | 1.2 m     |
| Cd=  | 2         |
| He=  | 0.28 m    |
| Va=  | 0.25 m/s  |
| Ha=  | 0.00 m    |
| Hd=  | 0.28 m    |
| h=   | 0.92 m    |

Tabla 39. Vertedor de descarga, laguna 1

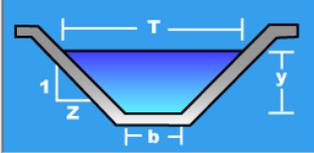
## Rediseño de canal de descarga de emergencias para carga real

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidales

|        |   |                |   |
|--------|---|----------------|---|
| Lugar: | <input type="text" value="Culiacán Sinaloa"/> | Proyecto:      | <input type="text" value="Parque Ecológico"/> |
| Tramo: | <input type="text"/>                          | Revestimiento: | <input type="text" value="Mampostería"/>      |

**Datos:**

|                      |                                   |                   |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Caudal (Q):          | <input type="text" value=".574"/> | m <sup>3</sup> /s |
| Ancho de solera (b): | <input type="text" value="2"/>    | m                 |
| Talud (Z):           | <input type="text" value="1"/>    |                   |
| Rugosidad (n):       | <input type="text" value=".02"/>  |                   |
| Pendiente (S):       | <input type="text" value=".001"/> | m/m               |



**Resultados:**

|                       |   |                |                         |                                     |         |
|-----------------------|---|----------------|-------------------------|-------------------------------------|---------|
| Tirante normal (y):   | <input type="text" value="0.3589"/>     | m              | Perímetro (p):          | <input type="text" value="3.0151"/> | m       |
| Área hidráulica (A):  | <input type="text" value="0.8466"/>     | m <sup>2</sup> | Radio hidráulico (R):   | <input type="text" value="0.2808"/> | m       |
| Espejo de agua (T):   | <input type="text" value="2.7178"/>     | m              | Velocidad (v):          | <input type="text" value="0.6780"/> | m/s     |
| Número de Froude (F): | <input type="text" value="0.3878"/>     |                | Energía específica (E): | <input type="text" value="0.3823"/> | m-Kg/Kg |
| Tipo de flujo:        | <input type="text" value="Subcrítico"/> |                |                         |                                     |         |

Calculador    Limpiar Pantalla    Imprimir    Menú Principal    Calculadora

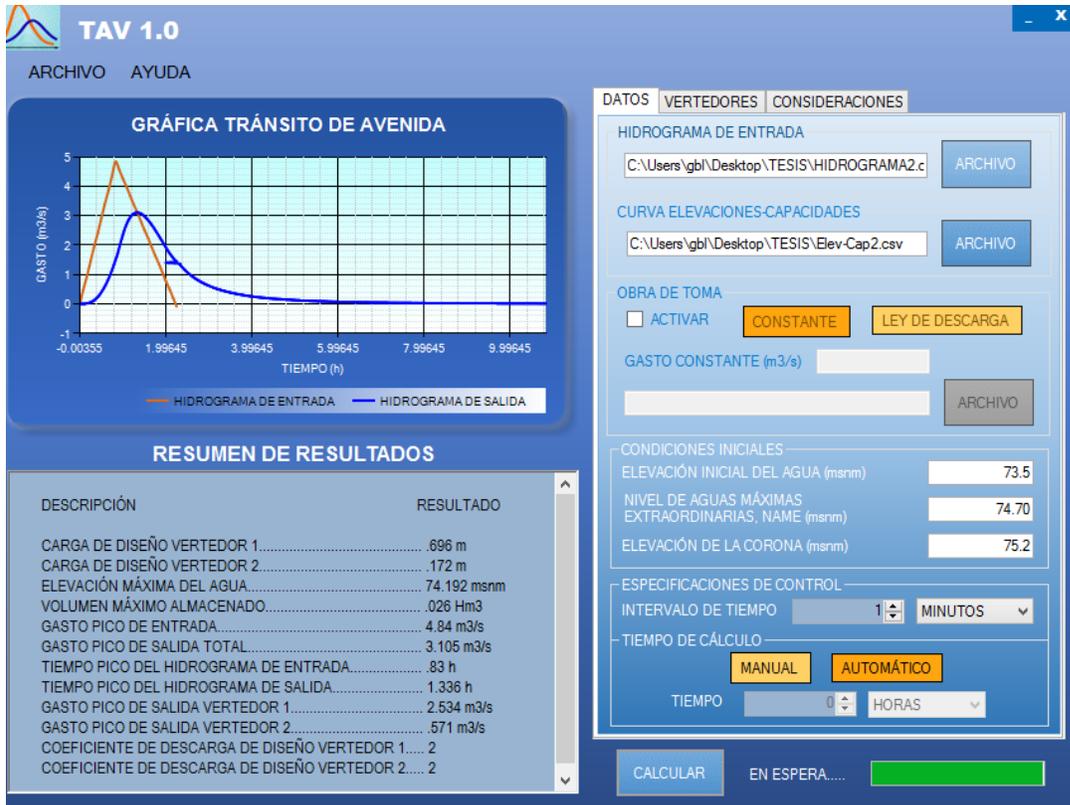
Figura 41. Diseño de canal de emergencias, laguna 1

## Laguna 2

Tránsito de la avenida de diseño en el caso que se decidiera almacenar agua en el volumen de regulación, es decir, que se tuviera que descargar solo con el vertedor de emergencias con nivel inicial del agua al nivel de su corona. En el segundo cuadro se muestra el mismo caso pero con nivel inicial de agua igual al nivel de corona del vertedor regulador, en este caso se tiene disponible el volumen de regulación justo antes de la avenida. Para estos dos escenarios resultan secciones de descarga muy grandes, por lo que se diseñarán los canales de la descarga de emergencia con el escenario donde ambos vertedores están funcionando en el caso más crítico, es decir, cuando al momento de la tormenta de diseño, no se tiene volumen de almacenamiento disponible, Figura 40.



Figura 42. Tránsito de avenida sin considerar regulación, laguna 2



Rediseño de canal de descarga de emergencias para carga real (descarga de funcionamiento junto con el vertedor de regulación).

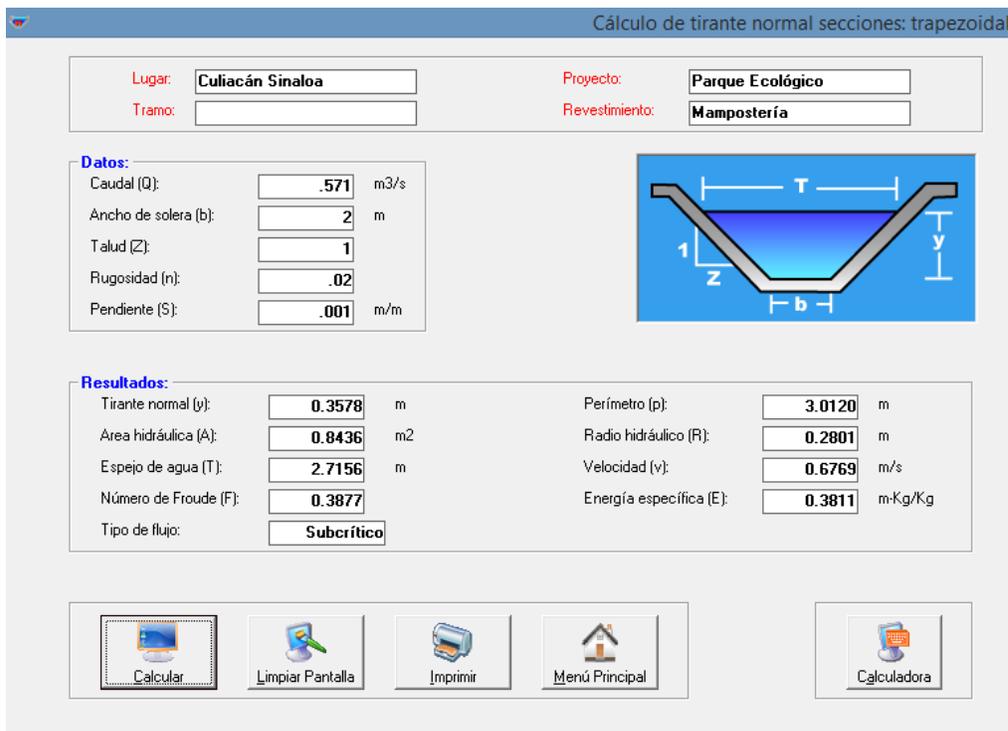


Figura 43. Diseño de descarga de emergencias, laguna 2

| VERTEDOR                            |      |                   |
|-------------------------------------|------|-------------------|
| Ingrese datos de celdas en amarillo |      |                   |
| Laguna                              | 1    |                   |
| Q=                                  | 0.59 | m <sup>3</sup> /s |
| L=                                  | 2    | m                 |
| h+Hd=                               | 1.2  | m                 |
| Cd=                                 | 2    |                   |
| He=                                 | 0.28 | m                 |
| Va=                                 | 0.25 | m/s               |
| Ha=                                 | 0.00 | m                 |
| Hd=                                 | 0.28 | m                 |
| h=                                  | 0.92 | m                 |

### Laguna 3

En la laguna tres por las condiciones particulares de falta de espacio para la disipación de energía, la descarga de emergencias se hace mediante tres vertedores donde cada uno descargará 1/3 del gasto de diseño, con la finalidad de tener una menor carga hidráulica para garantizar el funcionamiento del canal receptor que es a su vez perpendicular a la descarga, lo que resta capacidad para disipar la energía. En las tablas y la gráfica que se muestra a continuación se presentan los cálculos de la solución general para los tres vertedores mencionados. Adicionalmente se está diseñando las condiciones para la formación de un resalto hidráulico junto con un cuenco o estanque de disipación de energía para reducir la longitud de disipación necesaria que se requiere en la formación de un resalto hidráulico sin el diseño de una estructura de disipación.

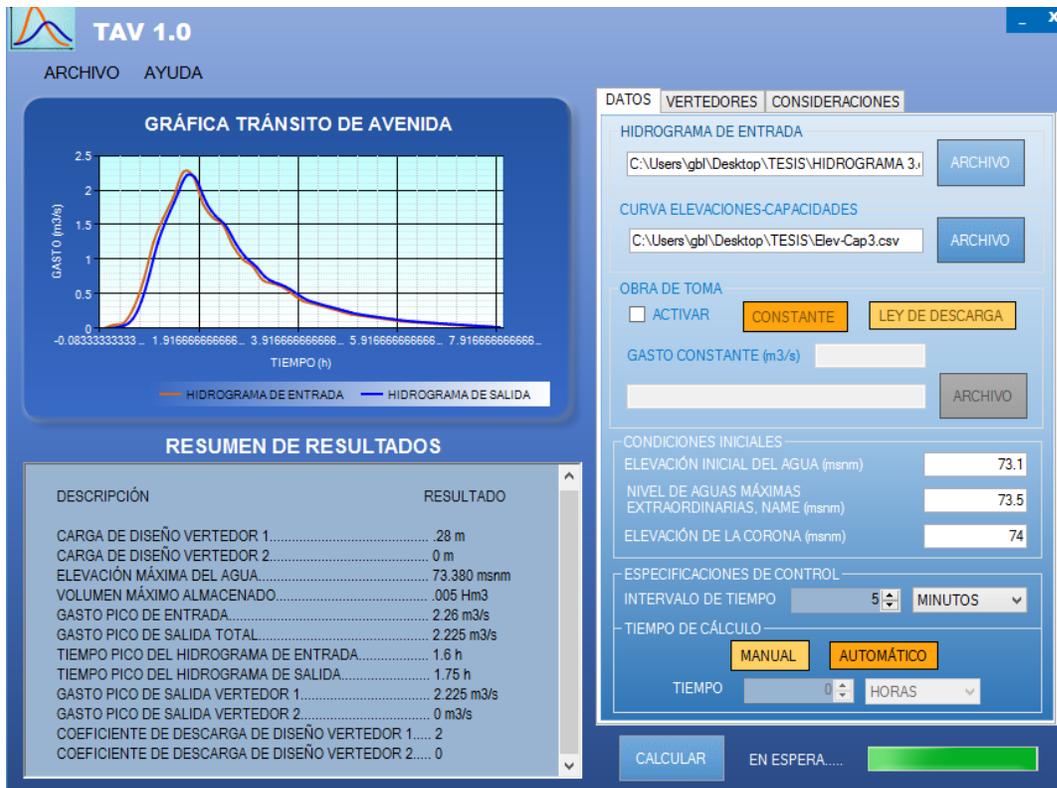


Figura 44. Tránsito de descarga de laguna 2 en laguna 3

## Canal de descarga

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal

Lugar: **Culacán Sinaloa** Proyecto: **Parque Ecológico**

Tramo: [ ] Revestimiento: **Mampostería**

**Datos:**

Caudal (Q): **.56** m³/s

Ancho de solera (b): **2** m

Talud (Z): **1**

Rugosidad (n): **.02**

Pendiente (S): **.001** m/m

**Resultados:**

Tirante normal (y): **0.3537** m

Perímetro (p): **3.0005** m

Área hidráulica (A): **0.8325** m²

Radio hidráulico (R): **0.2775** m

Espejo de agua (T): **2.7074** m

Velocidad (v): **0.6726** m/s

Número de Froude (F): **0.3873**

Energía específica (E): **0.3768** m-Kg/Kg

Tipo de flujo: **Subcrítico**

Calculador

Limpiar Pantalla

Imprimir

Menú Principal

Calculadora

Figura 45. Diseño de descargas en laguna 3

En la tabla siguiente se presenta un resumen de las estructuras que se diseñaron para el proyecto, desde la captación hasta las descargas.

2SC-2.- Laguna 2, sub-cuenca 2

2SC-3.- Laguna 2, sub-cuenca 3

| RESUMEN DE OBRAS |            |       |         |         |    |          |         |        |
|------------------|------------|-------|---------|---------|----|----------|---------|--------|
| CAPTACIÓN        |            |       |         |         |    |          |         |        |
| LAGUNA           | OBRA       | GASTO | TIRANTE | ANCHO B | BL | LONGITUD | CARGA H | CORONA |
| 1                | PRINCIPAL  | 1.09  | 0.89    | 0.5     |    |          |         |        |
|                  | SECUNDARIO | 0.54  | 0.64    | 0.5     |    |          |         |        |
|                  | GENERAL    | 0.27  | 0.46    | 0.5     |    |          |         |        |
|                  | DECANTADOR | 0.368 | 1       | 2.45    |    | 5.36     |         |        |
|                  | V ENTRADA  | 1.64  |         |         |    |          | 0.22    | 8      |
| 2 SC-2           | PRINCIPAL  | 2.27  | 0.65    | 2       |    |          |         |        |
|                  | SECUNDARIO | 1.14  | 0.74    | 1       |    |          |         |        |
|                  | GENERAL    | 0.57  | 0.66    | 0.5     |    |          |         |        |
|                  | DECANTADOR | 0.77  | 1       | 2.74    |    | 10       |         |        |
|                  | V ENTRADA  | 2.27  |         |         |    |          | 0.33    | 6      |
| 2 SC-3           | PRINCIPAL  | 2.57  | 0.7     | 2       |    |          |         |        |
|                  | SECUNDARIO | 1.72  | 0.64    | 1.5     |    |          |         |        |
|                  | SECUNDARIO | 0.86  | 0.64    | 1       |    |          |         |        |
|                  | GENERAL    | 0.43  | 0.6     | 0.5     |    |          |         |        |
|                  | DECANTADOR | 0.87  | 1       | 2.9     |    | 10.71    |         |        |
|                  | V ENTRADA  | 2.59  |         |         |    |          | 0.36    | 6      |
| REGULACIÓN       |            |       |         |         |    |          |         |        |
| LAGUNA 1         |            |       |         |         |    |          |         |        |
|                  | VERTEDOR   | 0.55  |         |         |    |          | 0.51    | 0.76   |
|                  | CANAL      | 0.716 | 0.36    | 2.5     |    |          |         |        |
| LAGUNA 2         |            |       |         |         |    |          |         |        |
|                  | VERTEDOR   | 1.64  |         |         |    |          | 0.52    | 2.18   |
|                  | 3 CANALES  | 1     | 0.5     | 2       |    |          |         |        |
| DESCARGAS        |            |       |         |         |    |          |         |        |
| LAGUNA 1         |            |       |         |         |    |          |         |        |
|                  | VERTEDOR   | 0.574 |         |         |    |          | 0.28    | 2      |
|                  | CANAL      | 0.574 | 0.36    | 2       |    |          |         |        |
| LAGUNA 2         |            |       |         |         |    |          |         |        |
|                  | VERTEDOR   | 0.571 |         |         |    |          | 0.28    | 2      |
|                  | CANALES    | 0.571 | 0.36    | 2       |    |          |         |        |
| LAGUNA 3         |            |       |         |         |    |          |         |        |
|                  | CANALES    | 0.56  | 0.36    | 2       |    |          |         |        |

Tabla 40. Resumen de estructuras calculadas.

Perfil del cimacio para embalses.

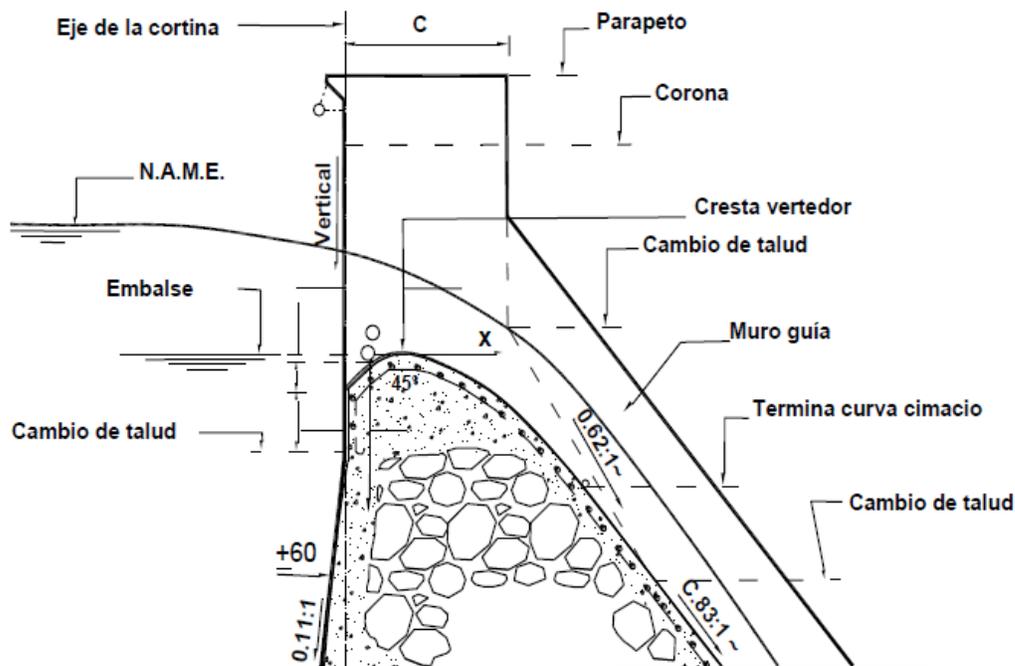


Figura 46. Perfil de cimacio tipo Creager.

Según el manual de obras de excedencias de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Scimemi E., realizó una serie de experimentos tendientes a definir el perfil de aguas, en zonas alejadas de la cresta, y propuso la siguiente ecuación:

$$\frac{y}{H_0} = 0.5 \left( \frac{x}{H_0} \right)^{1.85}$$

Donde:

$H_0$  = Carga de diseño, m.

$x, y$  = Coordenadas de un sistema cartesiano con origen en la arista superior del vertedor de cresta delgada, y sentidos positivos de los ejes hacia la derecha y hacia arriba respectivamente.

La forma usual de la cortina vertedora, consiste de una cara vertical en el paramento de aguas arriba, seguido de un chaflán a 45 grados y una cresta redondeada, seguido de un perfil tipo Creager (Figura 47).

Por razones de seguridad, para cargas menores de 1.0 m se recomienda utilizar las coordenadas correspondientes a la carga unitaria. En este caso todos los vertedores tienen trabajan con una carga hidráulica menor a 1m, por lo que se aplicará la recomendación anterior.

| X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.0   | 0.126 | 1.4   | 0.565 |
| 0.1   | 0.036 | 1.7   | 0.870 |
| 0.2   | 0.007 | 2.0   | 1.220 |
| 0.3   | 0.000 | 2.5   | 1.960 |
| 0.4   | 0.007 | 3.0   | 2.820 |
| 0.6   | 0.060 | 3.5   | 3.820 |
| 0.8   | 0.142 | 4.0   | 4.930 |
| 1.0   | 0.257 | 4.5   | 6.220 |
| 1.2   | 0.397 |       |       |

Para el cálculo de la longitud de la cresta vertedora, por medio de la fórmula de Francis (1), se toma un coeficiente de descarga  $C=2$ .

#### **4 Estrategias de implementación**

En este apartado se hará una descripción detallada y ordenada de los factores necesarios, así como de los elementos a desarrollar para llevar a cabo la implementación del proyecto que en este documento se desarrolla. También se detallarán todas las características de los elementos del proyecto como; dimensiones, materiales, detalles estructurales y constructivos.

##### **4.1 Plan de acción**

A continuación se describen de manera ordenada las acciones a llevar a cabo para la implementación del proyecto, así como los detalles de cada uno de los componentes del proyecto.

###### **4.1.1 Campaña de socialización**

Como es de esperarse, cualquier obra importante dentro de zonas urbanizadas requiere de una campaña de socialización, sobre todo en las zonas vecinas que tendrán que convivir e interactuar con la misma, al igual que usuarios actuales del espacio. Para esto se apoyará en aportar información y en hacer presentaciones para presentarles el proyecto a los grupos involucrados.

###### **4.1.2 Gestión de recursos**

Igual que en el punto anterior se aportará información y se elaborarán presentaciones para que el departamento de proyectos se apoye en la gestión de recursos. Parte de la información que se aportará será un presupuesto del proyecto, cronograma de actividades y planos de proyecto.

###### **4.1.3 Trabajos preliminares**

Esta etapa es muy importante debido a la vocación de la institución que administra el Parque Ecológico, ya que se tiene que proteger y/o rescatar la fauna y la flora que se encuentre en las zonas afectadas.

En el caso de la fauna solo se tomarán las medidas necesarias para detectar durante la ejecución de los trabajos, cualquier especie que pueda resultar amenazada, ya que por tratarse de un área afectada relativamente pequeña y dentro de un espacio más grande con las mismas características, la mayoría de las especies afectadas se pueden trasladar por si mismas a hacia áreas vecinas dentro del mismo parque.

Para la flora si se tiene que involucrar al departamento de proyectos para que decidan la nueva ubicación de las especies que resulten afectadas y sea factible su reubicación. También tiene que participar el departamento de curaduría en la valoración de las especies que tengan un valor botánico y que obligatoriamente se tengan que rescatar, este departamento también tiene que coordinar los trabajos del movimiento de las especies

#### **4.1.4 Proyecto**

Esta parte consta de los planos detallados de todos los elementos que son parte del proyecto, los cuales se presentan con todas las especificaciones necesarias para servir de base para elaborar correctamente un plan de ejecución y su correspondiente presupuesto.

##### **4.1.4.1 Consideraciones generales**

Según la referencia 13, en general este tipo de construcciones en sectores urbanos son de dimensiones pequeñas en comparación a los estanques que se construyen con otros fines, por lo que muchas de las consideraciones que aquí se mencionan aplican solo a estanques pequeños que generalmente se construyen en zonas urbanas con muros no mayores a 3m de altura.

Las inclinaciones que se utilizan en los muros de contención son muy pequeñas, del lado de la seguridad, así que la estabilidad de taludes en cortes y muros no es habitualmente una condición crítica.

Las principales consideraciones de construcción se relacionan con: a) preparación de terreno antes de la construcción, b) estudios y análisis de los suelos para ser empleados en las diferentes estructuras, c) precauciones en la construcción de terraplenes y excavaciones.

##### **a) Preparación de terreno antes de la construcción**

Principalmente se debe planificar el uso de estructuras temporales. Estas construcciones deben diseñarse dependiendo del tiempo que necesitan ser usadas y de la época del año en que lo harán. Entre las estructuras temporales son relevantes las que evitan la llegada de aguas lluvias a la obra, conduciéndolas hacia aguas abajo mediante obras provisionales de desvío.

##### **b) Estudios y análisis de los suelos para ser empleados en las diferentes estructuras**

En este caso particular, considerando que serán lagunas impermeables, solo se harán algunos sondeos para estimar los volúmenes de suelo que serán extraídos de excavaciones, y planear su reutilización como se plantea en proyecto.

##### **c) Precauciones en la construcción de terraplenes y excavaciones.**

Para efectuar y controlar las excavaciones deben establecerse los puntos en los cuales se medirán y controlarán los volúmenes excavados, la forma en que se considerará la sobre excavación y los rellenos necesarios, el destino de los materiales, ya sea almacenamiento, si van a ser empleados en otras etapas de la construcción o retiro, si no van a ser utilizados.

#### 4.1.4.2 Planos Arquitectónico

Laguna 1, canales de entrada de sub-cuenca 1, decantador, vertedores de regulación y de emergencias.

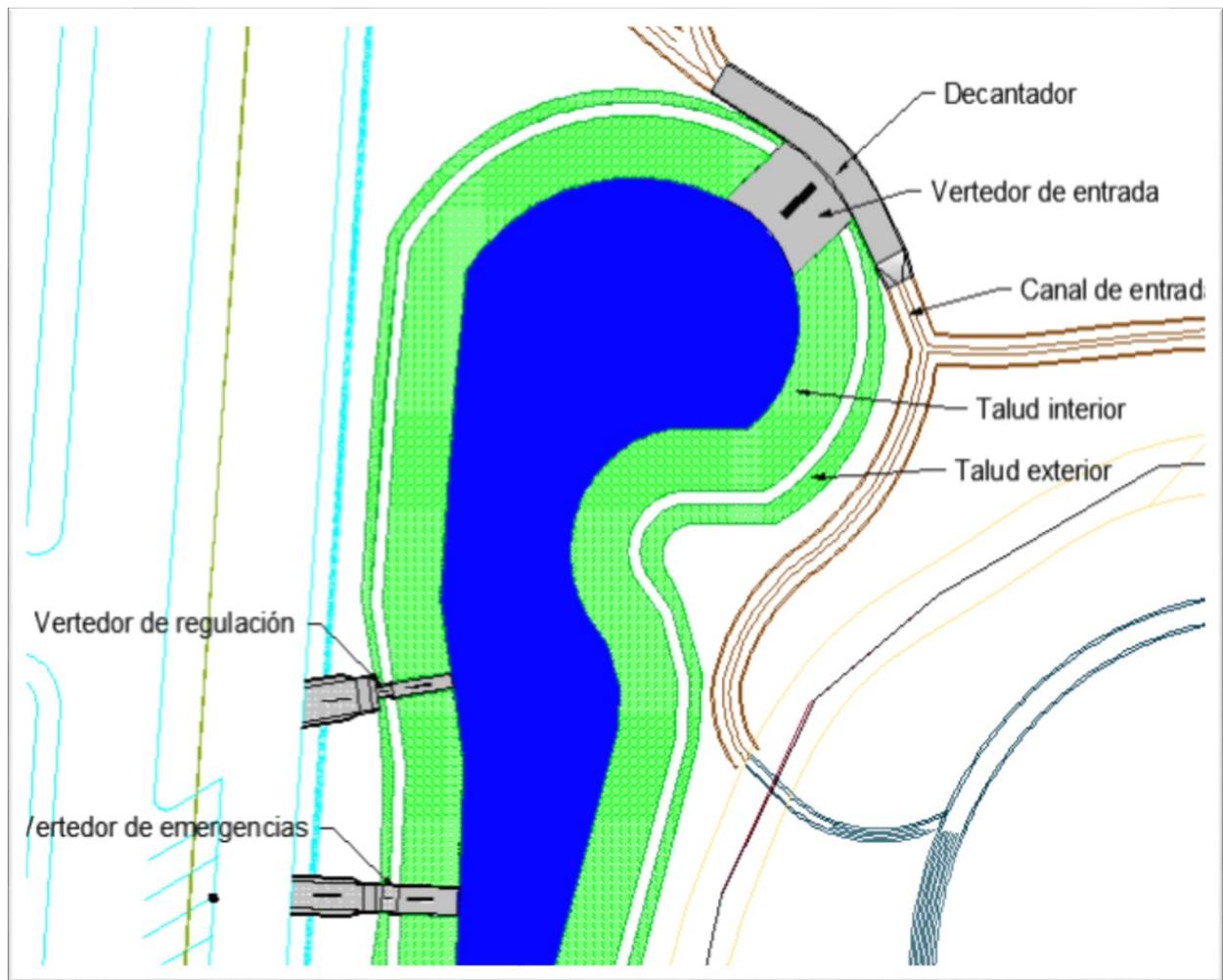


Figura 47. Arquitectónico laguna 1

Laguna 2, es la laguna de mayor superficie, donde el área azul es el almacenamiento permanente, el área blanca dentro del borde verde es el almacenamiento temporal.

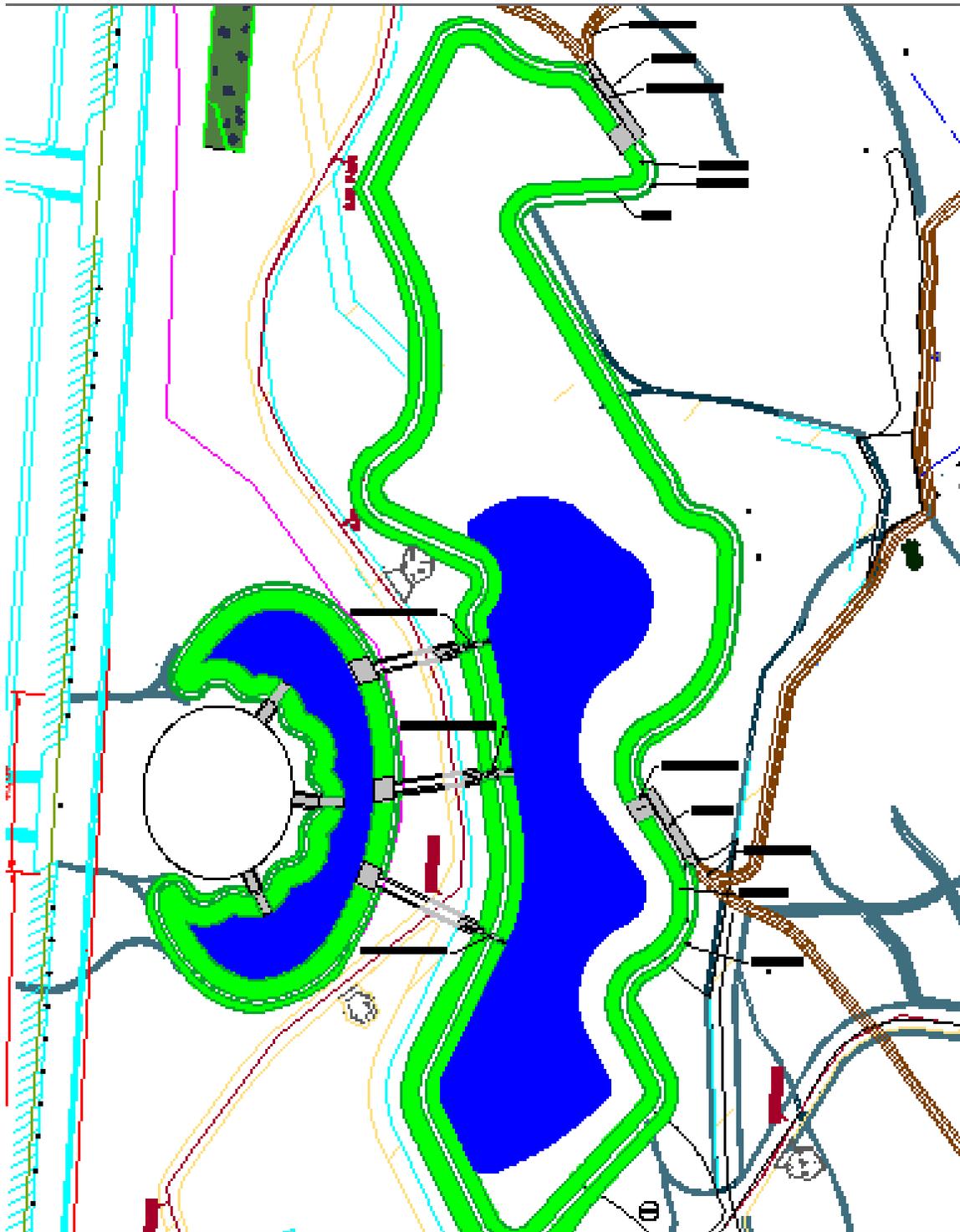
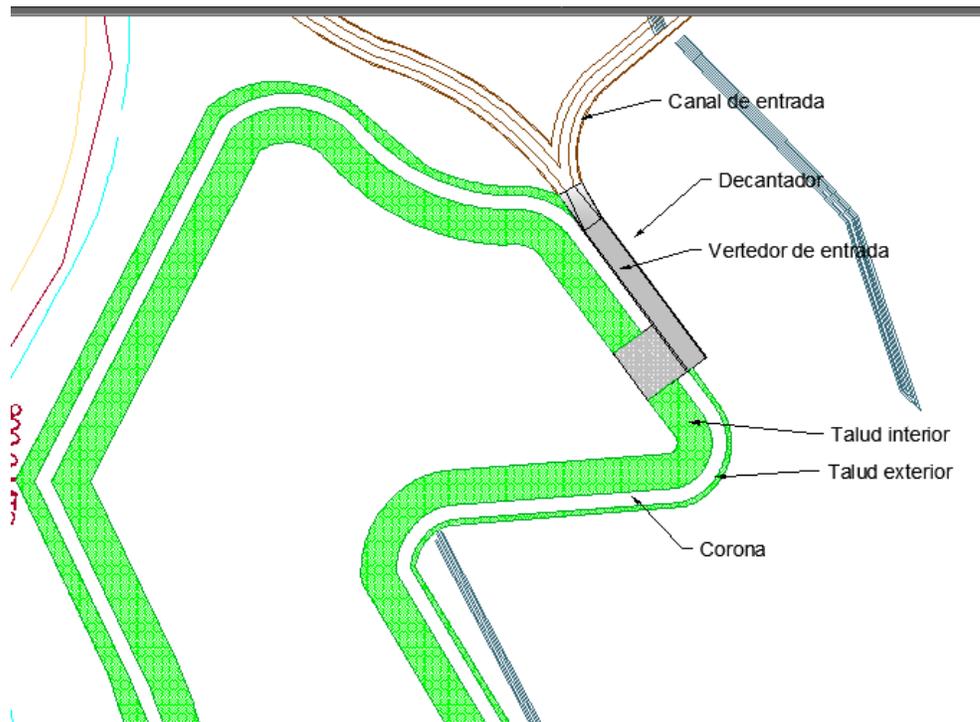
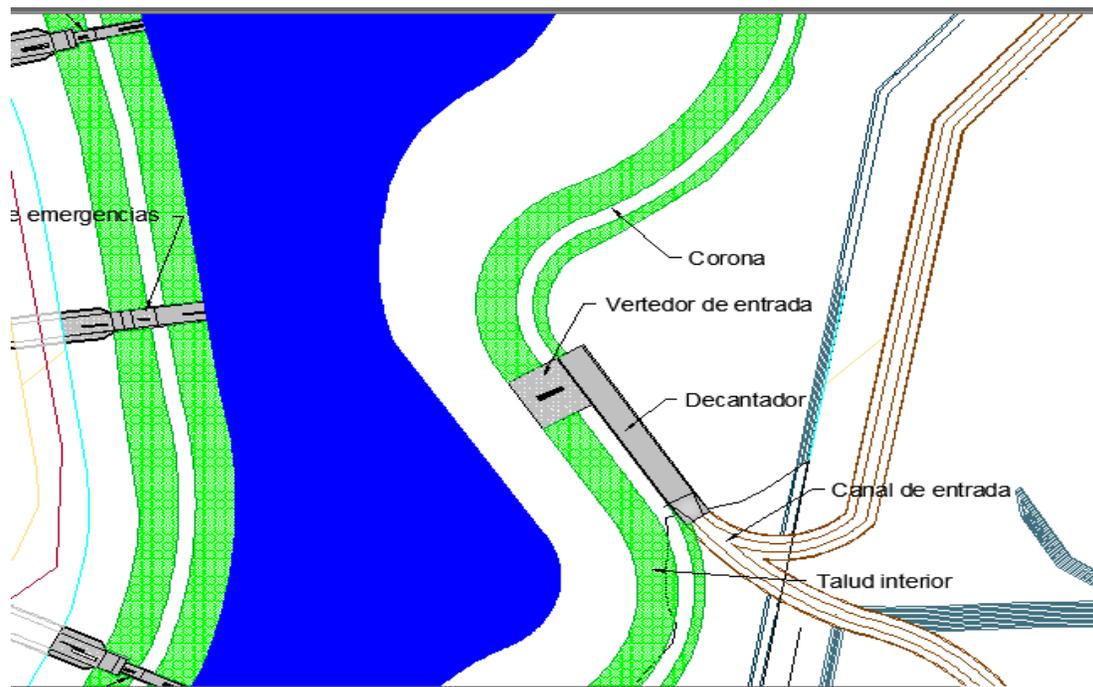


Figura 48. Arquitectónico laguna 2 y 3

Laguna 2, canales de entrada de sub-cuenca 2.



Laguna 2, canales de entrada de sub-cuenca 3, descargas de regulación y de emergencias.



Laguna 3, canales de entrada de laguna 2, y tres vertedores de descarga.

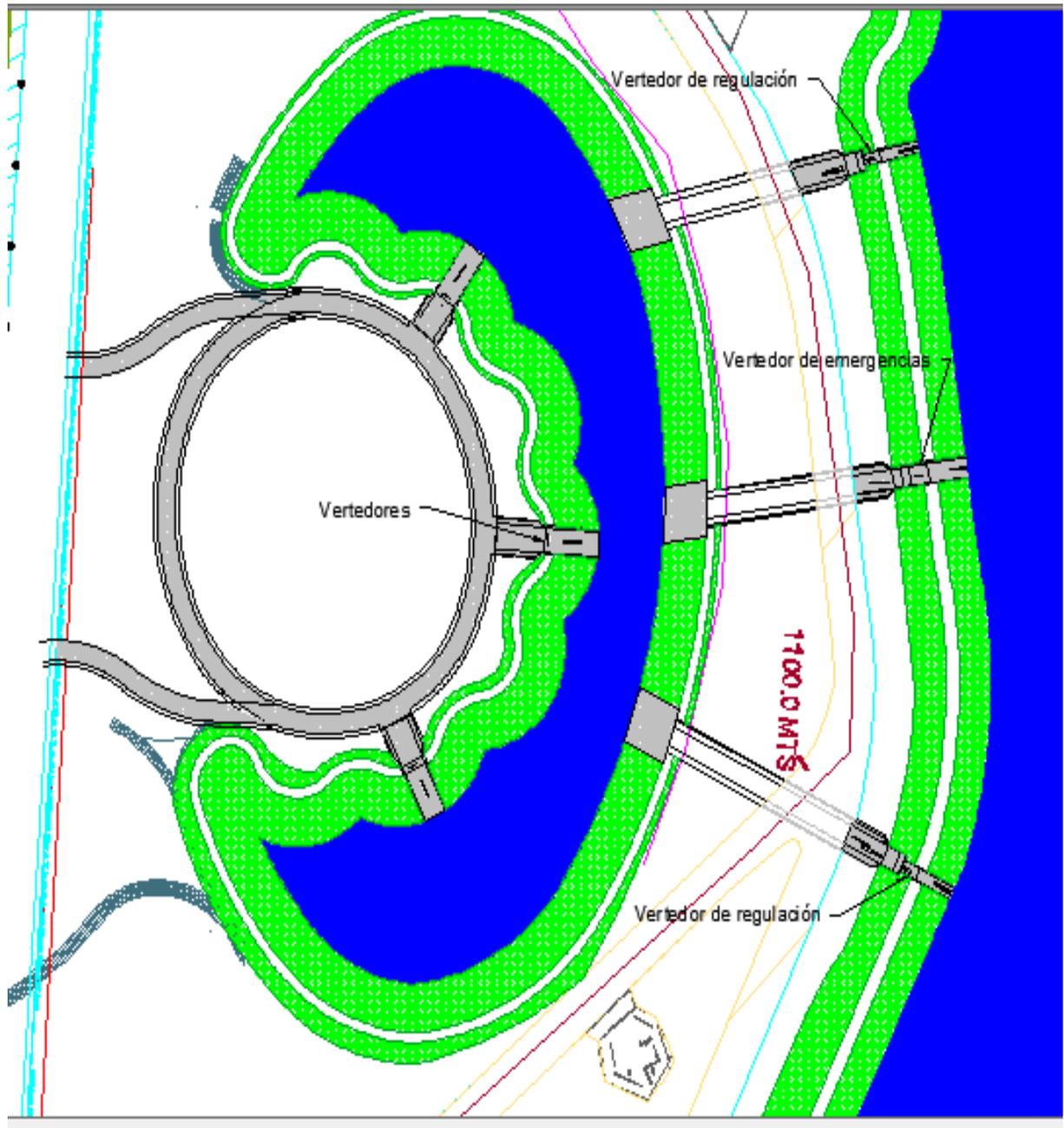
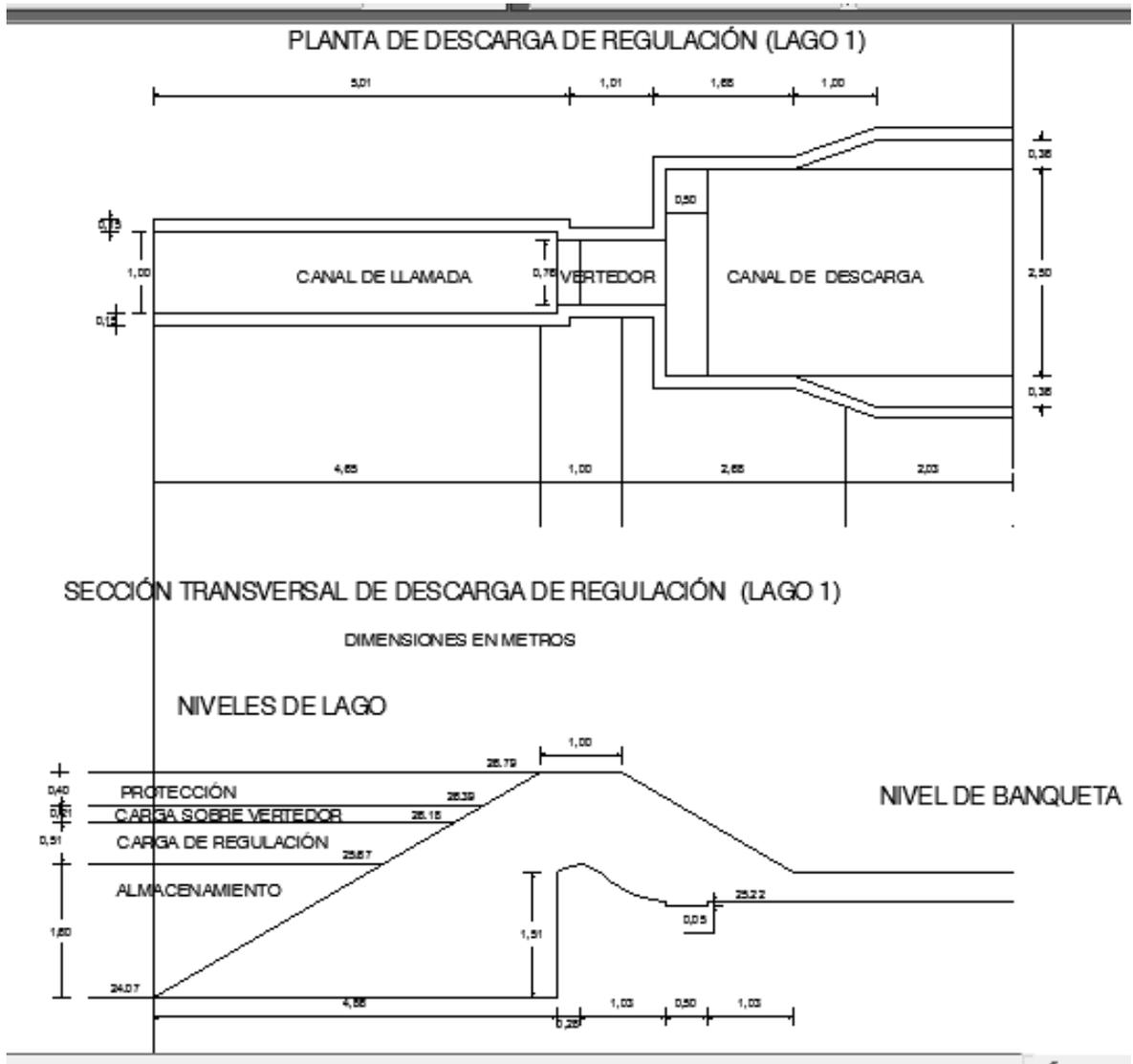
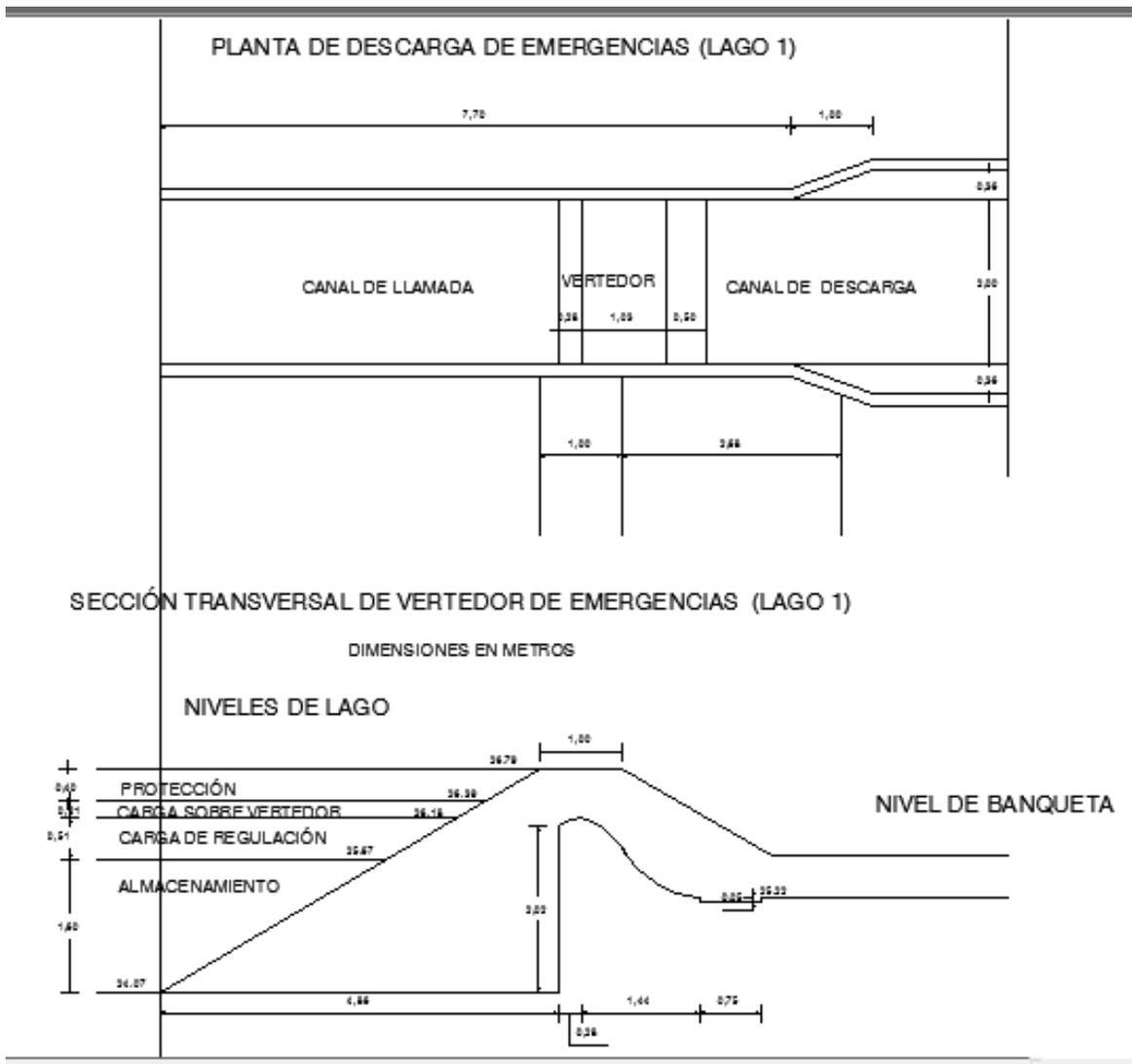


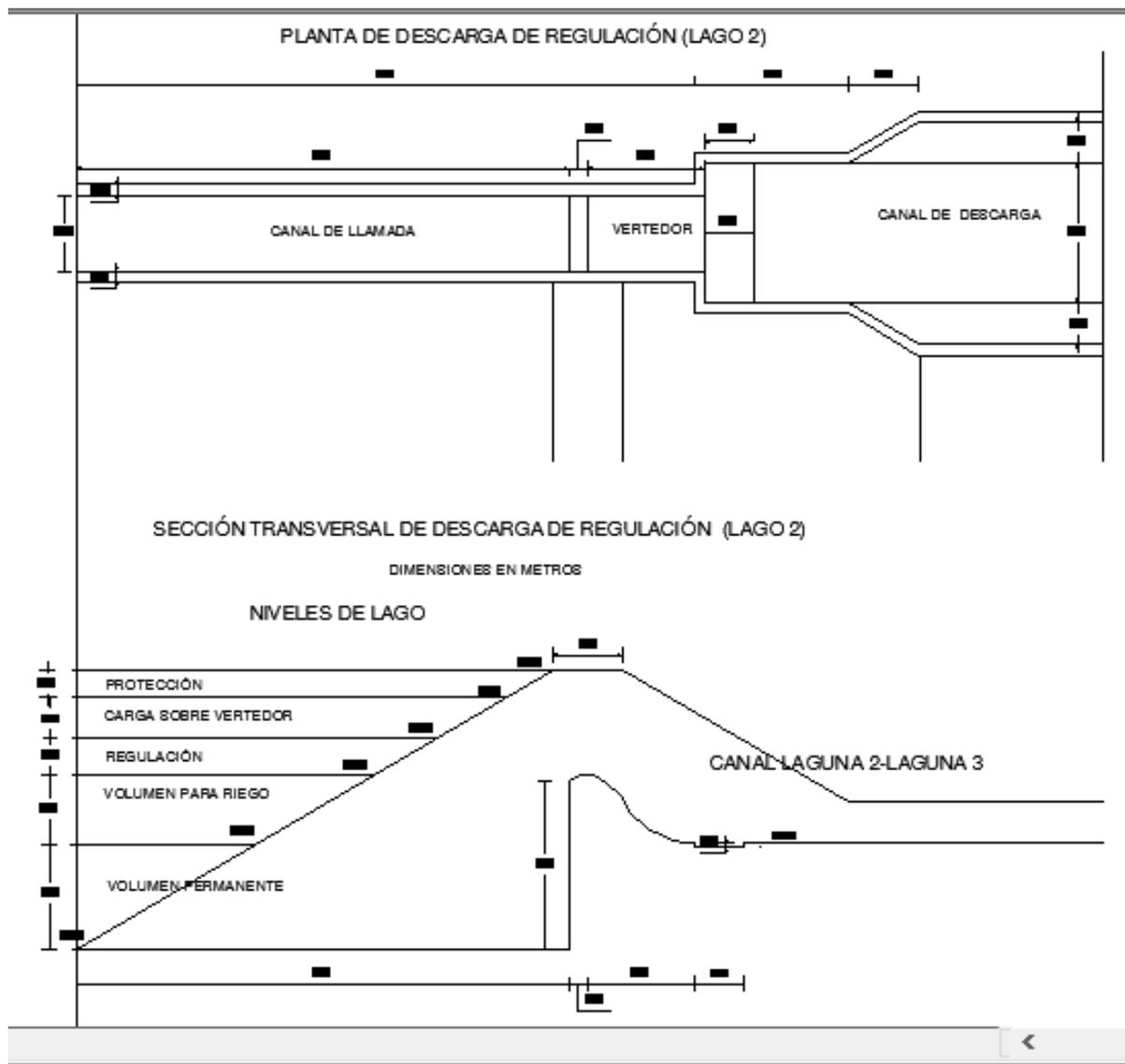
Figura 49. Vista de estructuras

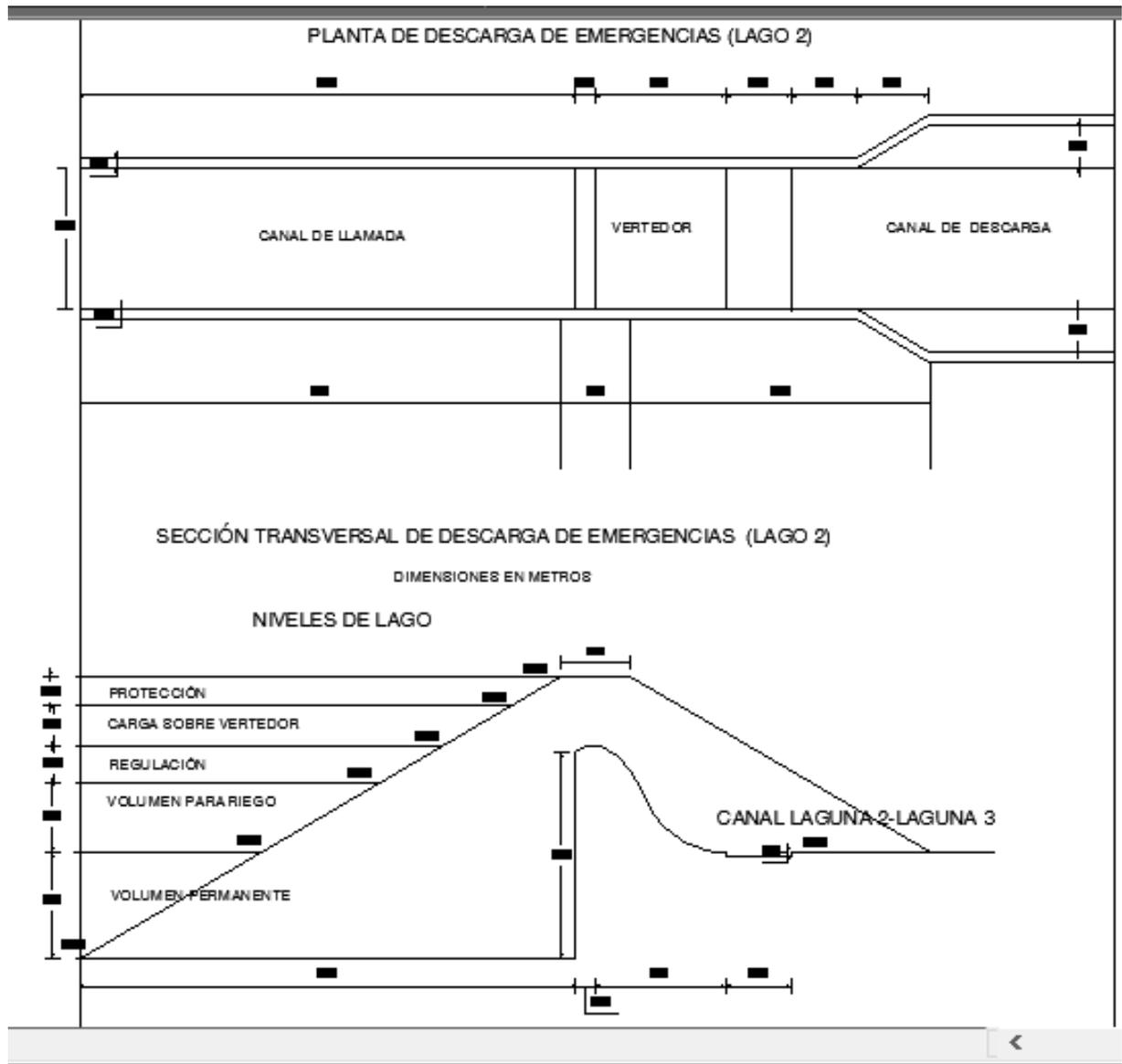
## Plantas y cortes de estructuras

En la sección transversal de los bordos que se presentan a continuación, está la sección transversal de los bordos, vertedor de emergencias y niveles de agua para las diferentes funciones de los estanques o lagunas.









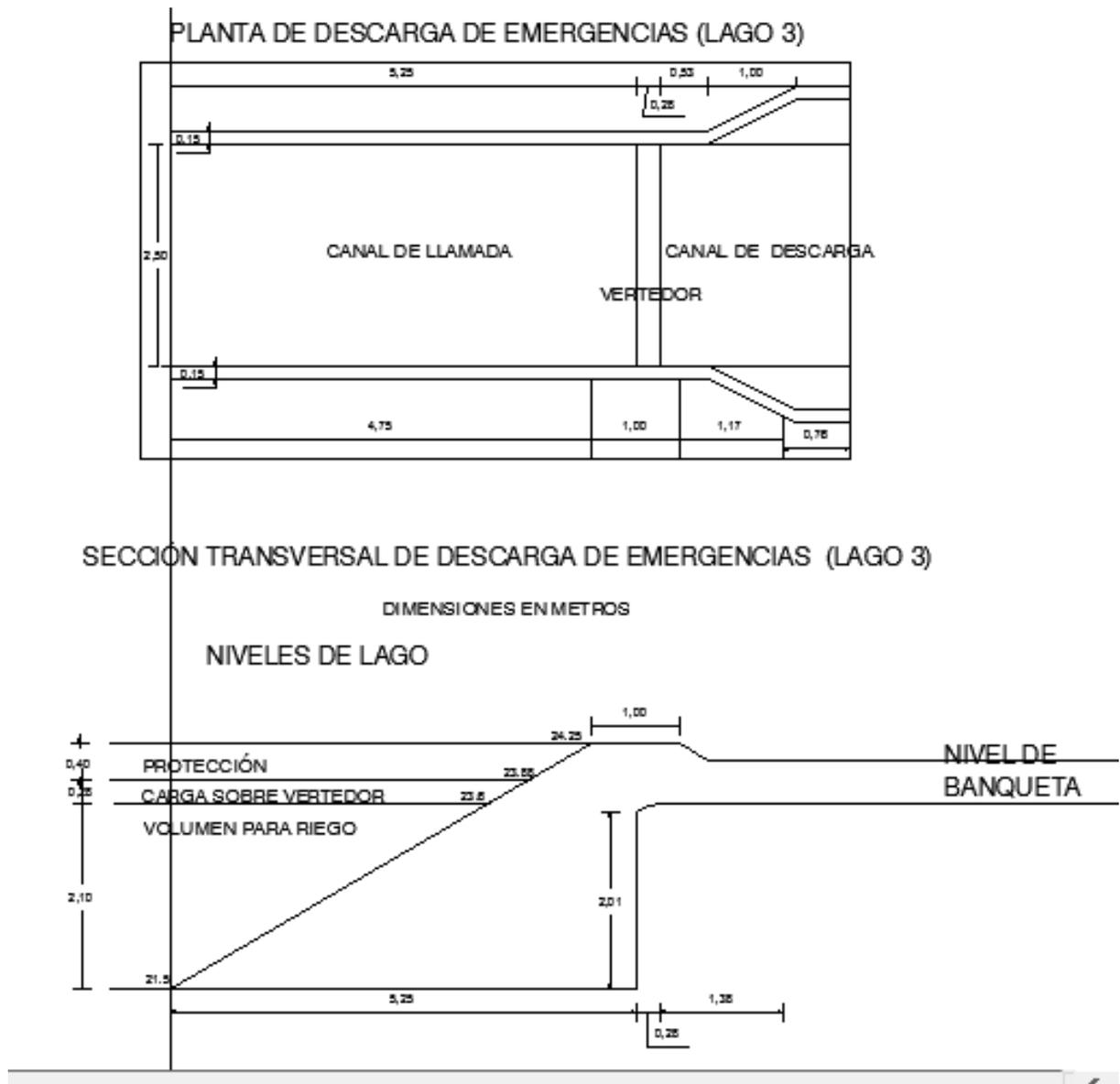
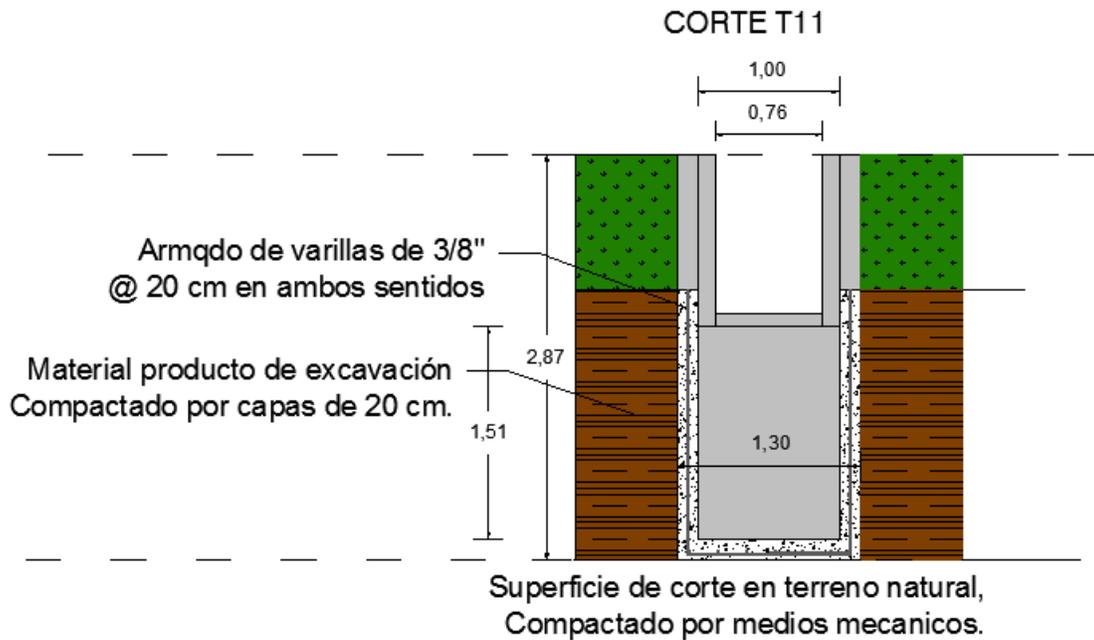
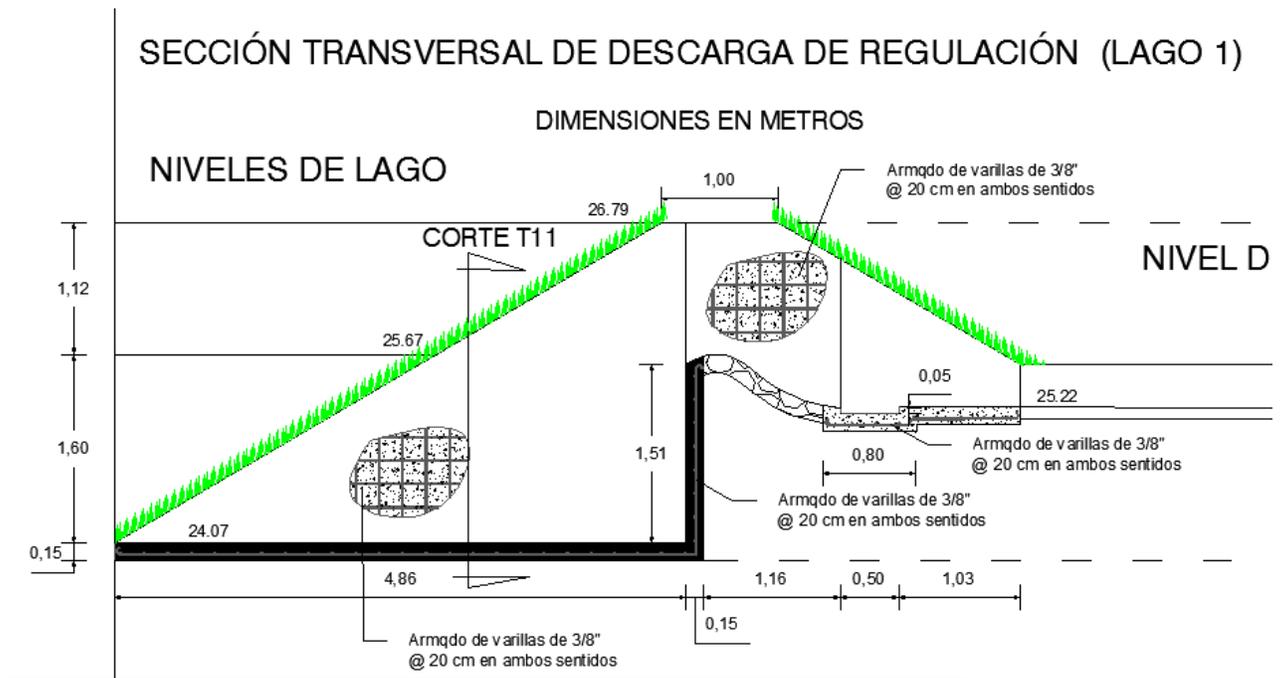
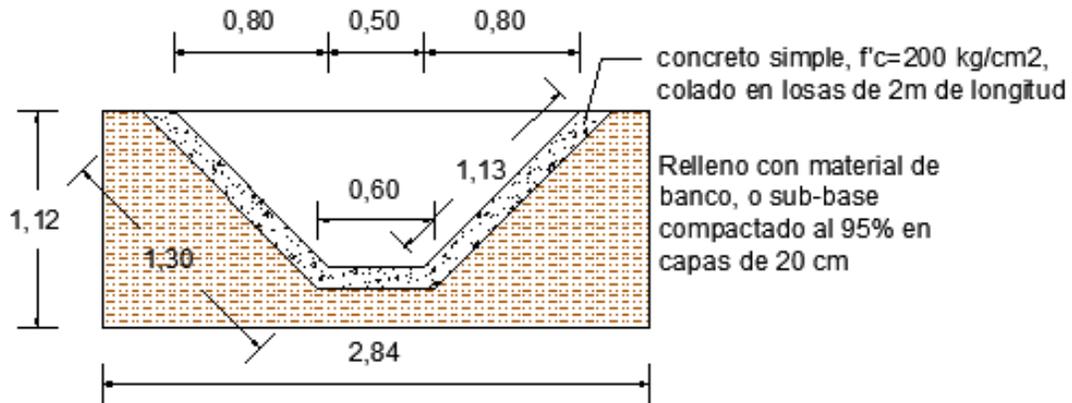


Figura 50. Plantas y cortes de estructuras

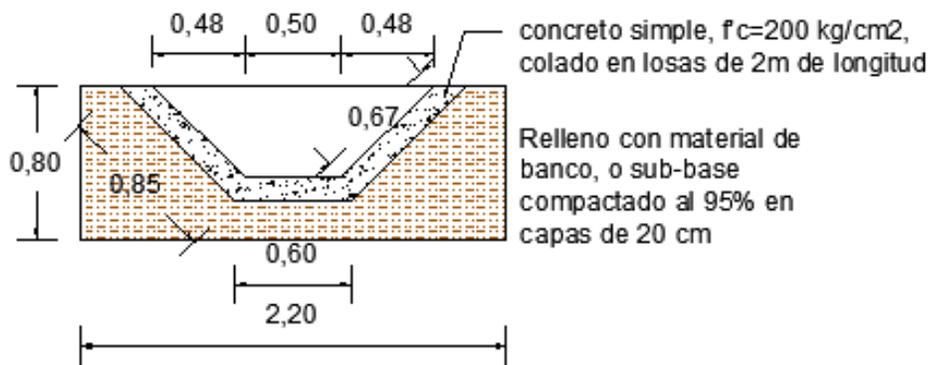
## Detalles constructivos



## Canal secundario, laguna 1



## Canal general, laguna 1



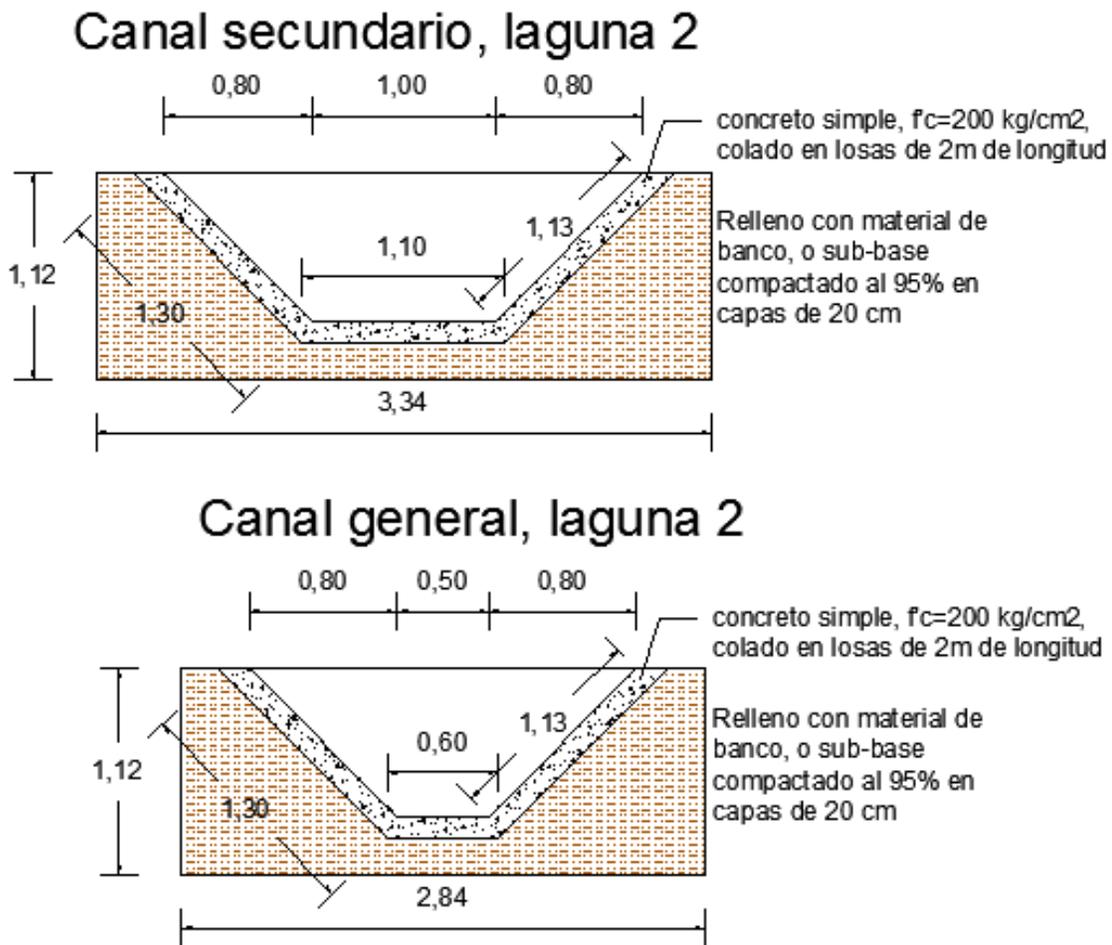


Figura 51. Detalles constructivos tipo

#### 4.2 Estrategias usadas para presentar y persuadir a los involucrados en el proyecto

Este proceso inicia con la implementación de una serie de actividades para lograr la aceptación del proyecto, tanto por la sociedad cercana al proyecto como por la institución a cargo de la administración del Parque Ecológico. Es importante también mencionar que en este proceso de socialización del proyecto se incluirá a las autoridades relacionadas con el desarrollo urbano, ya que uno de los propósitos de este proyecto de intervención es promover el desarrollo urbano sostenible mediante la aportación del diseño de uno de los componentes principales de infraestructura verde. Se aportará toda la información necesaria de Sociedad Botánica y Zoológica de Sinaloa (SBZS) para que el departamento de comunicación pueda realizar esta socialización de la manera más eficiente, también al departamento de proyectos para que pueda gestionar los recursos para su realización, ya sea que esta gestión se haga con

los representantes de SBZS o en alguna dependencia de gobierno, que esté relacionada con este tipo de proyectos como; CONAGUA, Desarrollo económico, IMPLAN, por mencionar algunos.

En esta sección principalmente se recordarán y describirán los beneficios de llegar a implementar este proyecto, también las afectaciones que hay actualmente sin la existencia del mismo.

La ciudad de Culiacán como cualquier ciudad del mundo está sufriendo los efectos de la urbanización, y en este caso nos ocupa uno relacionado con las precipitaciones. La infraestructura verde es un sistema de instalaciones cuyo objetivo es mitigar los efectos de la urbanización, dentro de estas instalaciones ocupan un lugar importante los estanques de detención, cuya función es reducir el gasto pico de avenidas extremas. Este proyecto tendrá varias funciones donde una es la regulación que se acaba de mencionar, otra es el almacenamiento de agua de lluvia para aportar a los riegos de áreas verdes en el parque, y mantener un volumen de agua permanente la mayor parte del año para fines recreativos. j

Es evidente que para la institución SBZS es muy importante la implementación de este tipo de proyectos, ya que su espíritu es la preservación del medio ambiente y en consecuencia, debe ser líder en la implementación de proyectos que contribuyan al cumplimiento de dicha preservación. Este estanque con la función de regulación sería el primero en la ciudad de Culiacán dentro de la mancha urbana, en el estado de Sinaloa y a nivel nacional, además pudiera ser el inicio de un plan general de drenaje urbano sostenible.

#### **4.2.1 Análisis costo-beneficio del proyecto.**

En la mayoría de proyectos de este tipo es sumamente difícil recuperar la inversión, o simplemente no se recupera cuantitativamente, ya que la mayoría de los beneficios de los proyectos de infraestructura verde son cualitativos (ecológicos y sociales), en este caso, el costo de la implementación del proyecto se podrá amortizar económicamente, como se muestra en la tabla 41. Las proyecciones en el análisis financiero se hacen considerando el valor de la inversión, costos de operación, mantenimiento y beneficios, afectados en el tiempo por una tasa estimada de inflación de 5%; el análisis se presenta para 25 años de operación de la obra, aunque su vida útil es mucho mayor con los mantenimientos adecuados.

La relación beneficio/costo se obtiene considerando el valor presente (VP) de los beneficios y los costos, el mismo resultado se obtiene si se calcula considerando el valor futuro de los mismos (VF). Esta relación para el proyecto es un valor muy aceptable, directamente se puede interpretar como beneficios mayores a seis veces el valor de los costos, para el periodo de operación de 25 años.

| <b>Análisis financiero del proyecto</b>  |                        |                                  |                 |                         |
|--|------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Costo de construcción del proyecto   |                        |                                  |                 | \$ 6,433,233.00         |
| Costo por metro cubico de agua para espacios públicos para el año 2018, JAPAC. |                        |                                  |                 | \$ 22.60                |
|  |                        | Tasa=                            |                 | 5%                      |
| Volúmen anual aprovechado en las distintas funciones                           |                        |                                  |                 | 80000 m3                |
| Volúmen anual de aportación a riego  |                        |                                  |                 | 60000 m3                |
| Años   | Costos                 | VF                               | Beneficios      | VF                      |
| 1  | \$ 6,433,233.00        | \$ 6,433,233.00                  | \$ 1,791,050.00 | \$ 1,791,050.00         |
| 2  | \$ 25,000.00           | \$ 6,779,894.65                  | \$ 1,880,602.50 | \$ 3,761,205.00         |
| 3  | \$ 26,250.00           | \$ 7,145,139.38                  | \$ 1,974,632.63 | \$ 5,923,897.88         |
| 4  | \$ 27,562.50           | \$ 7,529,958.85                  | \$ 2,073,364.26 | \$ 8,293,457.03         |
| 5  | \$ 28,940.63           | \$ 7,935,397.42                  | \$ 2,177,032.47 | \$ 10,885,162.35        |
| 6  | \$ 30,387.66           | \$ 8,362,554.95                  | \$ 2,285,884.09 | \$ 13,715,304.56        |
| 7  | \$ 31,907.04           | \$ 8,812,589.73                  | \$ 2,400,178.30 | \$ 16,801,248.08        |
| 8  | \$ 33,502.39           | \$ 9,286,721.61                  | \$ 2,520,187.21 | \$ 20,161,497.70        |
| 9  | \$ 35,177.51           | \$ 9,786,235.20                  | \$ 2,646,196.57 | \$ 23,815,769.15        |
| 10   | \$ 36,936.39           | \$ 10,312,483.35                 | \$ 2,778,506.40 | \$ 27,785,064.01        |
| 11   | \$ 38,783.21           | \$ 10,866,890.72                 | \$ 2,917,431.72 | \$ 32,091,748.93        |
| 12   | \$ 40,722.37           | \$ 11,450,957.62                 | \$ 3,063,303.31 | \$ 36,759,639.69        |
| 13   | \$ 42,758.48           | \$ 12,066,263.99                 | \$ 3,216,468.47 | \$ 41,814,090.15        |
| 14   | \$ 44,896.41           | \$ 12,714,473.59                 | \$ 3,377,291.90 | \$ 47,282,086.55        |
| 15   | \$ 47,141.23           | \$ 13,397,338.50                 | \$ 3,546,156.49 | \$ 53,192,347.37        |
| 16   | \$ 49,498.29           | \$ 14,116,703.72                 | \$ 3,723,464.32 | \$ 59,575,429.05        |
| 17   | \$ 51,973.20           | \$ 14,874,512.11                 | \$ 3,909,637.53 | \$ 66,463,838.04        |
| 18   | \$ 54,571.86           | \$ 15,672,809.58                 | \$ 4,105,119.41 | \$ 73,892,149.35        |
| 19   | \$ 57,300.46           | \$ 16,513,750.52                 | \$ 4,310,375.38 | \$ 81,897,132.19        |
| 20   | \$ 60,165.48           | \$ 17,399,603.52                 | \$ 4,525,894.15 | \$ 90,517,882.95        |
| 21   | \$ 63,173.75           | \$ 18,332,757.45                 | \$ 4,752,188.85 | \$ 99,795,965.95        |
| 22   | \$ 66,332.44           | \$ 19,315,727.77                 | \$ 4,989,798.30 | \$ 109,775,562.55       |
| 23   | \$ 69,649.06           | \$ 20,351,163.22                 | \$ 5,239,288.21 | \$ 120,503,628.89       |
| 24   | \$ 73,131.52           | \$ 21,441,852.90                 | \$ 5,501,252.62 | \$ 132,030,062.95       |
| 25   | \$ 76,788.09           | \$ 22,590,733.64                 | \$ 5,776,315.25 | \$ 144,407,881.35       |
| <b>VP</b>  | <b>\$ 7,004,661.57</b> |                                  | <b>VP</b>       | <b>\$ 44,776,250.00</b> |
|  |                        | <b>Relación beneficio/costo=</b> |                 | <b>6.39</b>             |

Tabla 41. Análisis financiero del proyecto (beneficio/costo)

La figura 54 muestra las gráficas del valor futuro acumulado de costos y beneficios, el punto donde las gráficas se interceptan significa el lugar en el tiempo que el valor de los costos y de los beneficios son iguales. Lo anterior en términos prácticos, es el tiempo de amortización del proyecto, que en la gráfica sucede aproximadamente a los 4 años.

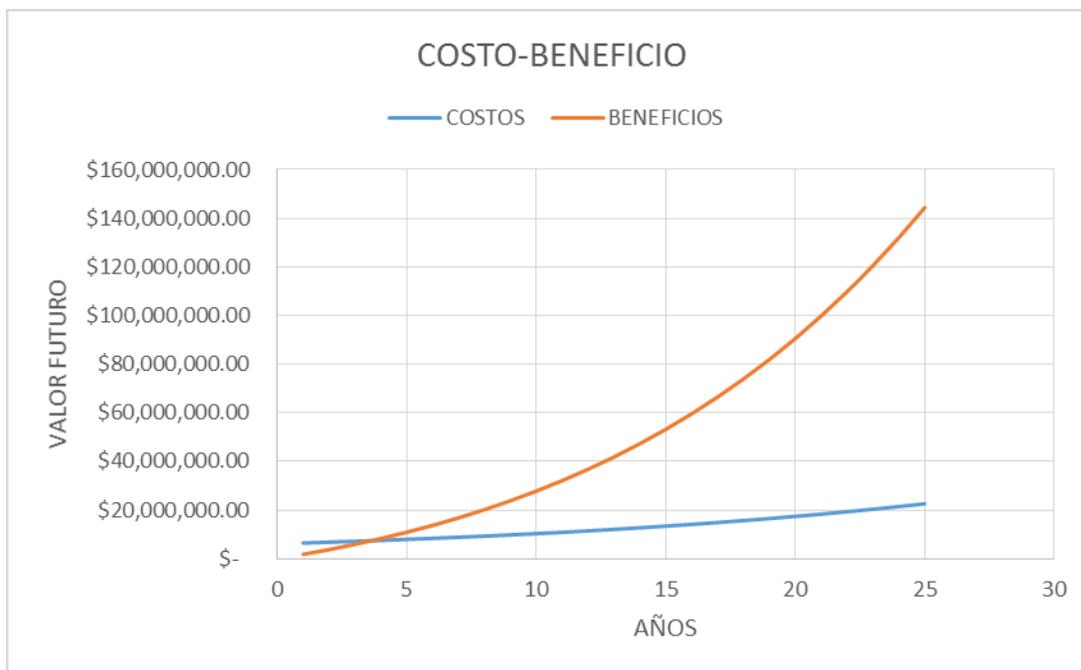


Figura 52. Valor futuro acumulado de costos y beneficios.

Hay que señalar también que la implementación de estanques de este tipo, en zonas factibles y estratégicas dentro de la mancha urbana, tendrá un impacto muy importante en la mitigación de los efectos de la urbanización como inundaciones en zonas bajas de la ciudad, conservación de las instalaciones de drenaje pluvial (dentro de las cuales están incluidas las superficies de las calles), desbordamiento de cauces naturales dentro y aguas abajo de zonas urbanizadas, con la mitigación de todos los efectos anteriores se contribuye a reducir la contaminación de las aguas de lluvia depositada en diversos sitios.

Para facilitar la gestión de los recursos y de socialización del proyecto al departamento de comunicación, se elaborara una presentación del proyecto con diapositivas que muestren los puntos más relevantes del proyecto y los beneficios que este traerá para el sector donde se ubica y para la ciudad de Culiacán.

La presentación se hará antes al departamento de proyectos para darle los elementos para defenderlo ante las instancias donde tenga que gestionar los recursos.

## **5 Administración del proyecto**

### **5.1 Calendario de trabajo**

A continuación se presenta un resumen de los tiempos de duración y fechas de ejecución a todas las actividades correspondientes a la parte técnica, a las que se hizo mención en el desarrollo del plan de acción.

Previo a los tiempos contemplados en la parte técnica, se tendrá que programar por parte de la institución SBZS, las actividades necesarias como trabajos preliminares, gestión de recursos y socialización.

En la parte técnica o de ejecución de trabajos, se tendrá que elaborar un catálogo de conceptos que muestren el desarrollo lógico de la ejecución de los trabajos.

## 5.1.1 Catálogo de conceptos

| Presupuesto de sistema de captación, almacenamiento y regulación de agua de lluvia para Parque Ecológico |  |        |
|--|--|--------|
| Clave  | Descripción  | Unidad |
| <b>LAGUNAS PARQUE ECOLOGICO</b>  |  |        |
| <b>LAGUNA 1</b>  |  |        |
| <b>CANALES</b>   |  |        |
| 1E   | Limpieza y despalle de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalle de terreno.   | m3     |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     |
| 7E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar nivel sub rasante.  | m3     |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     |
| 9E   | Revestimiento con concreto $f'c=200$ kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.  | M2     |
| <b>DECANTADOR</b>  |  |        |
| 1E   | Limpieza y despalle de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalle de terreno.   | m3     |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     |
| 9E   | Revestimiento con concreto $f'c=200$ kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.  | M2     |
| <b>ALMACENAMIENTO</b>  |  |        |
| 1E   | Limpieza y despalle de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalle de terreno.   | m3     |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 11E  | Geomembrana de 1 mm de espesor, incluye materiales, mano de obra y herramienta para su correcta instalación.   | m2     |
| <b>VERTEDORES</b>  |  |        |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     |
| <b>LAGUNA 2</b>  |  |        |
| <b>CANALES</b>   |  |        |
| 1E   | Limpieza y despalle de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalle de terreno.   | m3     |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     |
| 7E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo  | m3     |

| Presupuesto de sistema de captación, almacenamiento y regulación de agua de lluvia para Parque Ecológico |  |        |
|--|--|--------|
| Clave  | Descripción  | Unidad |
|  | B para dar nivel sub rasante.  |        |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     |
| 9E   | Revestimiento con concreto $f_c=200$ kg/cm <sup>2</sup> de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.  | M2     |
| <b>DECANTADORES</b>  |  |        |
| 1E   | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | m3     |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilómetro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     |
| <b>ALMACENAMIENTO</b>  |  |        |
| 1E   | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | m3     |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 11E  | Geomembrana de 1 mm de espesor, incluye materiales, mano de obra y herramienta para su correcta instalación.   | m2     |
| <b>VERTEDORES</b>  |  |        |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilómetro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     |
| <b>LAGUNA 3</b>  |  |        |
| <b>CANALES</b>   |  |        |
| 1E   | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | m3     |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilómetro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     |
| 7E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar nivel sub rasante.  | m3     |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     |
| 9E   | Revestimiento con concreto $f_c=200$ kg/cm <sup>2</sup> de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.  | M2     |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     |
| <b>ALMACENAMIENTO</b>  |  |        |
| 1E   | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | m3     |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 11E  | Geomembrana de 1 mm de espesor, incluye materiales, mano de obra y herramienta para su correcta instalación.   | m2     |

**Presupuesto de sistema de captación, almacenamiento y regulación de agua de lluvia para Parque Ecológico**

| Clave             | Descripción  | Unidad |
|-------------------|--|--------|
| <b>VERTEDORES</b> |  |        |
| 3E                | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     |
| 4E                | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     |
| 5E                | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     |
| 8E                | Compactación de terreno natural  | m2     |
| 10E               | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     |
| 6E                | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     |

| Programa de Obra ESTANQUES |   |                 |          |                  |          |     |     |     |
|----------------------------|---|-----------------|----------|------------------|----------|-----|-----|-----|
| Concepto                   | Descripción   | Fecha de inicio | Duración | Fecha de término | 2018 Sep | Oct | Nov | Dic |
|                            |   | 15/Sep/2018     | 94.5c    | 18/Dic/2018*     |          |     |     |     |
|                            | <b>LAGUNAS PARQUE ECOLÓGICO</b>   | 15/Sep/2018     | 94.5c    | 18/Dic/2018*     |          |     |     |     |
|                            | <b>LAGUNA 1</b>   | 15/Sep/2018     | 70.33c   | 24/Nov/2018*     |          |     |     |     |
|                            | <b>CANALES</b>  | 15/Sep/2018*    | 70c      | 24/Nov/2018*     |          |     |     |     |
| 1E                         | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.  | 15/Sep/2018*    | 2s       | 29/Sep/2018*     |          |     |     |     |
| 2E                         | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.  | 15/Sep/2018*    | 2s       | 29/Sep/2018*     |          |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.   | 29/Sep/2018*    | 1s       | 06/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.   | 06/Oct/2018*    | 2s       | 20/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.  | 06/Oct/2018*    | 2s       | 20/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 6E                         | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra. | 08/Oct/2018*    | 2s       | 22/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 7E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar nivel sub rasante.   | 20/Oct/2018*    | 2s       | 03/Nov/2018*     |          |     |     |     |
| 8E                         | Compactación de terreno natural   | 03/Nov/2018*    | 2s       | 17/Nov/2018*     |          |     |     |     |
| 9E                         | Revestimiento con concreto f'c=200 kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.   | 03/Nov/2018*    | 3s       | 24/Nov/2018*     |          |     |     |     |
|                            | <b>DECANTADOR</b>   | 15/Sep/2018*    | 38.17c   | 23/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 1E                         | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.  | 15/Sep/2018*    | 1d       | 17/Sep/2018*     |          |     |     |     |
| 2E                         | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.  | 15/Sep/2018*    | 1d       | 17/Sep/2018*     |          |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.   | 08/Oct/2018*    | 1d       | 09/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.   | 08/Oct/2018*    | 1d       | 09/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.  | 08/Oct/2018*    | 1d       | 09/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 6E                         | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra. | 09/Oct/2018*    | 1s       | 16/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 10E                        | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con panilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | 09/Oct/2018*    | 2s       | 23/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 9E                         | Revestimiento con concreto f'c=200 kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.   | 16/Oct/2018*    | 1s       | 23/Oct/2018*     |          |     |     |     |
|                            | <b>ALMACENAMIENTO</b>   | 15/Sep/2018     | 37.5c    | 22/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 1E                         | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.  | 15/Sep/2018     | 1s       | 21/Sep/2018      |          |     |     |     |
| 2E                         | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.  | 22/Sep/2018     | 1s       | 28/Sep/2018      |          |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.   | 29/Sep/2018*    | 1d       | 01/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.   | 01/Oct/2018*    | 1s       | 08/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.  | 01/Oct/2018*    | 1s       | 08/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 11E                        | Geomembrana de 1 mm de espesor,   | 08/Oct/2018*    | 2s       | 22/Oct/2018*     |          |     |     |     |

| Programa de Obra ESTANQUES |  |                 |          |                  |             |     |     |     |
|----------------------------|--|-----------------|----------|------------------|-------------|-----|-----|-----|
| Concepto                   | Descripción  | Fecha de inicio | Duración | Fecha de término | 2018<br>Sep | Oct | Nov | Dic |
|                            | incluye materiales, mano de obra y herramienta para su correcta instalación.   |                 |          |                  |             |     |     |     |
|                            | <b>VERTEDORES</b>  | 08/Oct/2018*    | 17c      | 25/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | 08/Oct/2018*    | 1d       | 09/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | 09/Oct/2018*    | 1d       | 10/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | 09/Oct/2018*    | 1d       | 10/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 8E                         | Compactación de terreno natural  | 10/Oct/2018*    | 1d       | 11/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 6E                         | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | 24/Oct/2018*    | 1d       | 25/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 10E                        | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | 10/Oct/2018*    | 2s       | 24/Oct/2018*     |             |     |     |     |
|                            | <b>LAGUNA 2</b>  | 15/Sep/2018     | 94.5c    | 18/Dic/2018*     |             |     |     |     |
|                            | <b>CANALES</b>   | 15/Sep/2018     | 94.5c    | 18/Dic/2018*     |             |     |     |     |
| 1E                         | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | 15/Sep/2018     | 2s       | 28/Sep/2018      |             |     |     |     |
| 2E                         | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | 15/Sep/2018     | 2s       | 28/Sep/2018      |             |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | 29/Sep/2018*    | 2d       | 02/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | 02/Oct/2018*    | 3s       | 23/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | 02/Oct/2018*    | 3s       | 23/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 6E                         | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | 23/Oct/2018*    | 4s       | 20/Nov/2018*     |             |     |     |     |
| 7E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar nivel sub rasante.  | 20/Nov/2018*    | 4s       | 18/Dic/2018*     |             |     |     |     |
| 8E                         | Compactación de terreno natural  | 20/Nov/2018*    | 4s       | 18/Dic/2018*     |             |     |     |     |
| 9E                         | Revestimiento con concreto f'c=200 kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.  | 20/Nov/2018*    | 4s       | 18/Dic/2018*     |             |     |     |     |
|                            | <b>DECANTADORES</b>  | 23/Oct/2018*    | 17c      | 09/Nov/2018*     |             |     |     |     |
| 1E                         | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | 23/Oct/2018*    | 1d       | 24/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 2E                         | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | 23/Oct/2018*    | 1d       | 24/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | 23/Oct/2018*    | 1d       | 24/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | 23/Oct/2018*    | 1d       | 24/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | 24/Oct/2018*    | 1d       | 25/Oct/2018*     |             |     |     |     |
| 6E                         | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | 08/Nov/2018*    | 1d       | 09/Nov/2018*     |             |     |     |     |
| 10E                        | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su                     | 25/Oct/2018*    | 2s       | 08/Nov/2018*     |             |     |     |     |

| Programa de Obra ESTANQUES |  |                 |          |                  |          |     |     |     |
|----------------------------|--|-----------------|----------|------------------|----------|-----|-----|-----|
| Concepto                   | Descripción  | Fecha de inicio | Duración | Fecha de término | 2018 Sep | Oct | Nov | Dic |
|                            | correcta ejecución.  |                 |          |                  |          |     |     |     |
|                            | <b>ALMACENAMIENTO</b>  | 15/Sep/2018     | 66.5c    | 20/Nov/2018*     |          |     |     |     |
| 1E                         | Limpieza y despalle de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | 15/Sep/2018     | 1s       | 21/Sep/2018      |          |     |     |     |
| 2E                         | Retiro de material producto de limpieza y despalle de terreno.   | 15/Sep/2018     | 1s       | 21/Sep/2018      |          |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | 22/Sep/2018*    | 2d       | 25/Sep/2018*     |          |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | 25/Sep/2018*    | 4s       | 23/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | 25/Sep/2018*    | 4s       | 23/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 11E                        | Geomembrana de 1 mm de espesor, incluye materiales, mano de obra y herramienta para su correcta instalación.   | 23/Oct/2018*    | 4s       | 20/Nov/2018*     |          |     |     |     |
|                            | <b>VERTEDORES</b>  | 23/Oct/2018*    | 10c      | 02/Nov/2018*     |          |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | 23/Oct/2018*    | 1d       | 24/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | 24/Oct/2018*    | 1d       | 25/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | 25/Oct/2018*    | 1d       | 26/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 8E                         | Compactación de terreno natural  | 26/Oct/2018*    | 2d       | 30/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 10E                        | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | 26/Oct/2018*    | 0        | 26/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 6E                         | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | 26/Oct/2018*    | 1s       | 02/Nov/2018*     |          |     |     |     |
|                            | <b>LAGUNA 3</b>  | 15/Sep/2018     | 54.5c    | 08/Nov/2018*     |          |     |     |     |
|                            | <b>CANALES</b>   | 15/Sep/2018     | 54.5c    | 08/Nov/2018*     |          |     |     |     |
| 1E                         | Limpieza y despalle de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | 15/Sep/2018     | 1s       | 21/Sep/2018      |          |     |     |     |
| 2E                         | Retiro de material producto de limpieza y despalle de terreno.   | 15/Sep/2018     | 1s       | 21/Sep/2018      |          |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | 22/Sep/2018*    | 1d       | 24/Sep/2018*     |          |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | 24/Sep/2018*    | 2s       | 08/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | 24/Sep/2018*    | 2s       | 08/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 6E                         | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | 09/Oct/2018*    | 1s       | 16/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 7E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar nivel sub rasante.  | 16/Oct/2018*    | 1s       | 23/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 8E                         | Compactación de terreno natural  | 23/Oct/2018*    | 2d       | 25/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 9E                         | Revestimiento con concreto f'c=200 kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.  | 25/Oct/2018*    | 2s       | 08/Nov/2018*     |          |     |     |     |
| 10E                        | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | 16/Oct/2018*    | 1s       | 23/Oct/2018*     |          |     |     |     |
|                            | <b>ALMACENAMIENTO</b>  | 15/Sep/2018     | 45.5c    | 30/Oct/2018*     |          |     |     |     |
| 1E                         | Limpieza y despalle de terreno de  | 15/Sep/2018     | 1s       | 21/Sep/2018      |          |     |     |     |

| Programa de Obra ESTANQUES |  |                     |               |                     |          |     |     |     |
|----------------------------|--|---------------------|---------------|---------------------|----------|-----|-----|-----|
| Concepto                   | Descripción  | Fecha de inicio     | Duración      | Fecha de término    | 2018 Sep | Oct | Nov | Dic |
|                            | acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   |                     |               |                     |          |     |     |     |
| 2E                         | Retiro de material producto de limpieza y despilme de terreno.   | 15/Sep/2018         | 1s            | 21/Sep/2018         |          |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | 22/Sep/2018*        | 2d            | 25/Sep/2018*        |          |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | 25/Sep/2018*        | 2s            | 09/Oct/2018*        |          |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | 25/Sep/2018*        | 2s            | 09/Oct/2018*        |          |     |     |     |
| 11E                        | Geomembrana de 1 mm de espesor, incluye materiales, mano de obra y herramienta para su correcta instalación.   | 09/Oct/2018*        | 3s            | 30/Oct/2018*        |          |     |     |     |
|                            | <b>VERTEDORES</b>  | <b>09/Oct/2018*</b> | <b>29.17c</b> | <b>07/Nov/2018*</b> |          |     |     |     |
| 3E                         | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | 09/Oct/2018*        | 1d            | 10/Oct/2018*        |          |     |     |     |
| 4E                         | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | 10/Oct/2018*        | 1d            | 11/Oct/2018*        |          |     |     |     |
| 5E                         | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | 11/Oct/2018*        | 1d            | 12/Oct/2018*        |          |     |     |     |
| 8E                         | Compactación de terreno natural  | 12/Oct/2018*        | 1d            | 15/Oct/2018*        |          |     |     |     |
| 10E                        | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | 15/Oct/2018*        | 3s            | 05/Nov/2018*        |          |     |     |     |
| 6E                         | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | 05/Nov/2018*        | 3d            | 07/Nov/2018*        |          |     |     |     |

## Resumen por partidas.

| Programa de Obra ESTANQUES |                 |          |                  |             |                             |             |     |             |     |             |
|----------------------------|-----------------|----------|------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----|-------------|-----|-------------|
| Descripción                | Fecha de Inicio | Duración | Fecha de término | 2018<br>Sep | Sep                         | 2018<br>Oct | Oct | 2018<br>Nov | Nov | 2018<br>Dic |
|                            | 15/Sep/2018     | 94.5c    | 18/Dic/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Dec] |             |     |             |     |             |
| LAGUNAS PARQUE ECOLÓGICO   | 15/Sep/2018     | 94.5c    | 18/Dic/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Dec] |             |     |             |     |             |
| LAGUNA 1                   | 15/Sep/2018     | 70.33c   | 24/Nov/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Nov] |             |     |             |     |             |
| CANALES                    | 15/Sep/2018*    | 70c      | 24/Nov/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Nov] |             |     |             |     |             |
| DECANTADOR                 | 15/Sep/2018*    | 38.17c   | 23/Oct/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Oct] |             |     |             |     |             |
| ALMACENAMIENTO             | 15/Sep/2018     | 37.5c    | 22/Oct/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Oct] |             |     |             |     |             |
| VERTEDORES                 | 08/Oct/2018*    | 17c      | 25/Oct/2018*     |             | [Gantt bar from Oct to Oct] |             |     |             |     |             |
| LAGUNA 2                   | 15/Sep/2018     | 94.5c    | 18/Dic/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Dec] |             |     |             |     |             |
| CANALES                    | 15/Sep/2018     | 94.5c    | 18/Dic/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Dec] |             |     |             |     |             |
| DECANTADORES               | 23/Oct/2018*    | 17c      | 09/Nov/2018*     |             | [Gantt bar from Oct to Nov] |             |     |             |     |             |
| ALMACENAMIENTO             | 15/Sep/2018     | 66.5c    | 20/Nov/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Nov] |             |     |             |     |             |
| VERTEDORES                 | 23/Oct/2018*    | 10c      | 02/Nov/2018*     |             | [Gantt bar from Oct to Nov] |             |     |             |     |             |
| LAGUNA 3                   | 15/Sep/2018     | 54.5c    | 08/Nov/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Nov] |             |     |             |     |             |
| CANALES                    | 15/Sep/2018     | 54.5c    | 08/Nov/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Nov] |             |     |             |     |             |
| ALMACENAMIENTO             | 15/Sep/2018     | 45.5c    | 30/Oct/2018*     |             | [Gantt bar from Sep to Oct] |             |     |             |     |             |
| VERTEDORES                 | 09/Oct/2018*    | 29.17c   | 07/Nov/2018*     |             | [Gantt bar from Oct to Nov] |             |     |             |     |             |

## 5.1.1 Presupuesto

| Presupuesto de sistema de captación, almacenamiento y regulación de agua de lluvia para Parque Ecológico |  |        |          |                 |                        |
|--|--|--------|----------|-----------------|------------------------|
| Clave  | Descripción  | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Total                  |
| <b>LAGUNAS PARQUE ECOLÓGICO</b>  |  |        |          |                 |                        |
| <b>LAGUNA 1</b>  |  |        |          |                 |                        |
| <b>CANALES</b>   |  |        |          |                 |                        |
| 1E   | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     | 1,574.00 | \$ 6.11         | \$ 9,617.14            |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | m3     | 314.00   | \$ 34.42        | \$ 10,807.88           |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 1,574.00 | \$ 4.17         | \$ 6,563.58            |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 1,319.00 | \$ 14.28        | \$ 18,835.32           |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 1,294.00 | \$ 15.00        | \$ 19,410.00           |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     | 1,312.00 | \$ 256.00       | \$ 335,872.00          |
| 7E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar nivel sub rasante.  | m3     | 609.00   | \$ 14.28        | \$ 8,696.52            |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     | 1,254.00 | \$ 6.47         | \$ 8,113.38            |
| 9E   | Revestimiento con concreto f'c=200 kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.  | M2     | 1,254.00 | \$ 236.62       | \$ 296,721.48          |
| <b>Total de CANALES</b>  |  |        |          |                 | <b>\$ 714,637.30</b>   |
| <b>DECANTADOR</b>  |  |        |          |                 |                        |
| 1E   | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     | 69.00    | \$ 6.11         | \$ 421.59              |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | m3     | 13.80    | \$ 34.42        | \$ 475.00              |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 69.00    | \$ 4.17         | \$ 287.73              |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 107.64   | \$ 14.28        | \$ 1,537.10            |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 107.64   | \$ 15.00        | \$ 1,614.60            |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     | 30.00    | \$ 256.00       | \$ 7,680.00            |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     | 120.38   | \$ 682.60       | \$ 82,171.39           |
| 9E   | Revestimiento con concreto f'c=200 kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.  | M2     | 47.59    | \$ 236.62       | \$ 11,260.75           |
| <b>Total de DECANTADOR</b>   |  |        |          |                 | <b>\$ 105,448.16</b>   |
| <b>ALMACENAMIENTO</b>  |  |        |          |                 |                        |
| 1E   | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     | 2,300.00 | \$ 6.11         | \$ 14,053.00           |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | m3     | 460.00   | \$ 34.42        | \$ 15,833.20           |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 2,300.00 | \$ 4.17         | \$ 9,591.00            |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 2,723.70 | \$ 14.28        | \$ 38,894.44           |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 1,906.59 | \$ 15.00        | \$ 28,598.85           |
| 11E  | Geomembrana de 1 mm de espesor, incluye materiales, mano de obra y herramienta para su correcta instalación.   | m2     | 717.60   | \$ 62.25        | \$ 44,670.60           |
| <b>Total de ALMACENAMIENTO</b>   |  |        |          |                 | <b>\$ 151,641.09</b>   |
| <b>VERTEDORES</b>  |  |        |          |                 |                        |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 55.00    | \$ 4.17         | \$ 229.35              |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 116.00   | \$ 14.28        | \$ 1,656.48            |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 87.00    | \$ 15.00        | \$ 1,305.00            |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     | 44.00    | \$ 6.47         | \$ 284.68              |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilometro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     | 18.00    | \$ 256.00       | \$ 4,608.00            |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     | 83.80    | \$ 682.60       | \$ 57,201.88           |
| <b>Total de VERTEDORES</b>   |  |        |          |                 | <b>\$ 65,285.39</b>    |
| <b>Total de LAGUNA 1</b>   |  |        |          |                 | <b>\$ 1'037,011.94</b> |
| <b>LAGUNA 2</b>  |  |        |          |                 |                        |
| <b>CANALES</b>   |  |        |          |                 |                        |
| 1E   | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     | 5,818.00 | \$ 6.11         | \$ 35,547.98           |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | m3     | 1,164.00 | \$ 34.42        | \$ 40,064.88           |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 5,818.00 | \$ 4.17         | \$ 24,261.06           |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 4,977.00 | \$ 14.28        | \$ 71,071.56           |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de   | m3     | 4,977.00 | \$ 15.00        | \$ 74,655.00           |

| Presupuesto de sistema de captación, almacenamiento y regulación de agua de lluvia para Parque Ecológico |  |        |           |                 |                        |
|--|--|--------|-----------|-----------------|------------------------|
| Clave  | Descripción  | Unidad | Cantidad  | Precio unitario | Total                  |
|  | excavación.  |        |           |                 |                        |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilómetro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     | 4,977.00  | \$ 256.00       | \$ 1'274,112.00        |
| 7E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar nivel sub rasante.  | m3     | 2,457.00  | \$ 14.28        | \$ 35,085.96           |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     | 4,189.00  | \$ 6.47         | \$ 27,102.83           |
| 9E   | Revestimiento con concreto Fc=200 kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.   | M2     | 4,189.00  | \$ 236.62       | \$ 991,201.18          |
| <b>Total de CANALES</b>  |  |        |           |                 | <b>\$ 2'573,102.45</b> |
| <b>DECANTADORES</b>  |  |        |           |                 |                        |
| 1E   | Limpieza y despalle de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     | 76.80     | \$ 6.11         | \$ 469.25              |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalle de terreno.   | m3     | 15.36     | \$ 34.42        | \$ 528.69              |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 76.80     | \$ 4.17         | \$ 320.26              |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 96.88     | \$ 14.28        | \$ 1,383.45            |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 96.88     | \$ 15.00        | \$ 1,453.20            |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilómetro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     | 13.80     | \$ 256.00       | \$ 3,532.80            |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     | 213.99    | \$ 682.60       | \$ 146,069.57          |
| <b>Total de DECANTADORES</b>   |  |        |           |                 | <b>\$ 163,757.22</b>   |
| <b>ALMACENAMIENTO</b>  |  |        |           |                 |                        |
| 1E   | Limpieza y despalle de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     | 17,672.00 | \$ 6.11         | \$ 107,975.92          |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalle de terreno.   | m3     | 18,322.40 | \$ 34.42        | \$ 630,657.01          |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 17,672.00 | \$ 4.17         | \$ 73,692.24           |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 12,493.00 | \$ 14.28        | \$ 178,400.04          |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 3,747.90  | \$ 15.00        | \$ 56,218.50           |
| 11E  | Geomembrana de 1 mm de espesor, incluye materiales, mano de obra y herramienta para su correcta instalación.   | m2     | 2,626.26  | \$ 62.25        | \$ 163,484.69          |
| <b>Total de ALMACENAMIENTO</b>   |  |        |           |                 | <b>\$ 1'210,428.40</b> |
| <b>VERTEDORES</b>  |  |        |           |                 |                        |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 44.00     | \$ 4.17         | \$ 183.48              |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 116.00    | \$ 14.28        | \$ 1,656.48            |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 75.40     | \$ 15.00        | \$ 1,131.00            |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     | 35.20     | \$ 6.47         | \$ 227.74              |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     | 94.00     | \$ 682.60       | \$ 64,164.40           |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilómetro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     | 18.00     | \$ 256.00       | \$ 4,608.00            |
| <b>Total de VERTEDORES</b>   |  |        |           |                 | <b>\$ 71,971.10</b>    |
| <b>Total de LAGUNA 2</b>   |  |        |           |                 | <b>\$ 4'009,259.17</b> |
| <b>LAGUNA 3</b>  |  |        |           |                 |                        |
| <b>CANALES</b>   |  |        |           |                 |                        |
| 1E   | Limpieza y despalle de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     | 302.50    | \$ 6.11         | \$ 1,848.28            |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalle de terreno.   | m3     | 60.50     | \$ 34.42        | \$ 2,082.41            |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 302.50    | \$ 4.17         | \$ 1,261.43            |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 278.30    | \$ 14.28        | \$ 3,974.12            |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 361.79    | \$ 15.00        | \$ 5,426.85            |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilómetro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     | 278.30    | \$ 256.00       | \$ 71,244.80           |
| 7E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar nivel sub rasante.  | m3     | 139.40    | \$ 14.28        | \$ 1,990.63            |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     | 287.89    | \$ 6.47         | \$ 1,862.65            |
| 9E   | Revestimiento con concreto Fc=200 kg/cm2 de 12 cm. , incluye: material, mano de obra, herramienta y todo o necesario para su correcta ejecución.   | M2     | 287.89    | \$ 236.62       | \$ 68,120.53           |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     | 28.80     | \$ 682.60       | \$ 19,658.88           |
| <b>Total de CANALES</b>  |  |        |           |                 | <b>\$ 177,470.58</b>   |
| <b>ALMACENAMIENTO</b>  |  |        |           |                 |                        |

| Presupuesto de sistema de captación, almacenamiento y regulación de agua de lluvia para Parque Ecológico |  |        |          |                 |                        |
|--|--|--------|----------|-----------------|------------------------|
| Clave  | Descripción  | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Total                  |
| 1E   | Limpieza y despalme de terreno de acuerdo a especificaciones de proyecto aprobado. Incluye material, herramienta y mano de obra.   | m2     | 3,578.00 | \$ 6.11         | \$ 21,861.58           |
| 2E   | Retiro de material producto de limpieza y despalme de terreno.   | m3     | 715.60   | \$ 34.42        | \$ 24,630.95           |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 3,578.00 | \$ 4.17         | \$ 14,920.26           |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 2,473.20 | \$ 14.28        | \$ 35,317.30           |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 3,214.90 | \$ 15.00        | \$ 48,223.50           |
| 11E  | Geomembrana de 1 mm de espesor, incluye materiales, mano de obra y herramienta para su correcta instalación.   | m2     | 1,312.74 | \$ 62.25        | \$ 81,718.07           |
| <b>Total de ALMACENAMIENTO</b>   |  |        |          |                 | <b>\$ 226,671.66</b>   |
| <b>VERTEDORES</b>  |  |        |          |                 |                        |
| 3E   | Trazo y nivelación con equipo topográfico. Incluye encalado, estacas, material, herramienta y mano de obra.  | m2     | 578.50   | \$ 4.17         | \$ 2,412.35            |
| 4E   | Corte o excavación por medios mecánicos sobre material tipo B para dar niveles de proyecto.  | m3     | 183.32   | \$ 14.28        | \$ 2,617.81            |
| 5E   | Carga y retiro al primer kilómetro de material producto de excavación.   | m3     | 238.29   | \$ 15.00        | \$ 3,574.35            |
| 8E   | Compactación de terreno natural  | m2     | 561.00   | \$ 6.47         | \$ 3,629.67            |
| 10E  | Muro de concreto reforzado de 15 cm de espesor con parrilla de acero de 3/8" en ambos sentidos @ 20 cm, incluye material, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. | M2     | 115.20   | \$ 682.60       | \$ 78,635.52           |
| 6E   | Colocación de sub base compactada al 95% prueba Proctor de 20 cm. Incluye homogenización, tendido, compactación, acarreo dentro del primer kilómetro medido compacto, material, herramienta y mano de obra.  | m3     | 18.00    | \$ 256.00       | \$ 4,608.00            |
| <b>Total de VERTEDORES</b>   |  |        |          |                 | <b>\$ 95,477.70</b>    |
| <b>Total de LAGUNA 3</b>   |  |        |          |                 | <b>\$ 499,619.94</b>   |
| <b>Total de LAGUNAS PARQUE ECOLÓGICO</b>   |  |        |          |                 | <b>\$ 5'545,891.05</b> |
| <b>Subtotal de Presupuesto</b>   |  |        |          |                 | <b>\$ 5'545,891.05</b> |
|  |  |        |          | <b>Impuesto</b> | <b>\$ 887,342.57</b>   |
|  |  |        |          | <b>Total</b>    | <b>\$ 6'433,233.62</b> |

## 6 Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

Con todo el proceso de diseño y estrategias utilizadas para obtener un sistema con un buen porcentaje de eficiencia, finalmente se logró obtener en la simulación de vasos, una eficiencia del 80%, lo que representa más de 80000m<sup>3</sup> anuales aprovechados en las diferentes funciones del sistema.

El diseño final, al que se llegó, tiene capacidad para regular una tormenta de periodo de retorno de 100 años, estando llenos los estanques, y de almacenarla, estando vacíos. Lo que significa un nivel de seguridad aceptable, considerando su ubicación.

Operativamente, de acuerdo a los resultados de simulación de vasos, sí es posible conservar un volumen permanente en los estanques, para fines de esparcimiento, con la excepción de la laguna tres que solo en años muy húmedos conservará volumen almacenado. La capacidad de almacenamiento de las lagunas, al final, no fue resultado de un balance entre aportaciones y demandas, sino de restricciones del propio proyecto, y de condiciones de operación. El volumen de agua almacenada no es suficiente para aportar agua para riego durante meses secos, y al mismo tiempo conservar almacenamiento para esparcimiento.

La estructura del suelo en el Parque Ecológico, no permite estrategias de infiltración como vimos en la estratigrafía, es un suelo arcilloso muy expansivo sobre un estrato de roca intemperizada muy compacta, ambos de baja permeabilidad. Por otro lado, tener un suelo de baja permeabilidad permitió reducir los costos, al no considerar instalación de geo membrana en el fondo de los estanques, la cual solo se propuso al interior de los bordos de contención.

La ubicación y diseño de las lagunas de acuerdo al proyecto arquitectónico, no permiten la captación del 100% del agua interceptada por la cuenca, dejando fuera una superficie de 16000 m<sup>2</sup> aproximadamente, que escurrirá directamente a la calle.

El volumen de agua de almacenamiento permanente requerirá de algún proceso de tratamiento de oxigenación y filtración, ya sea mecánico o biológico, para que los cuerpos de agua no se vuelvan un problema de salud y estético.

Finalmente es importante mencionar que este sistema requiere complementarse con un sistema de distribución para poder desarrollar la eficiencia con la que se diseñó.

De antemano se entiende que un buen plan de drenaje sustentable requiere de una gran planeación, organización, y concientización de la sociedad y autoridades responsables de la planeación de desarrollo urbano. Con esto se entiende la gran tarea que tienen los profesionales en promover e impulsar con todos los medios disponibles, un desarrollo urbano sustentable, lo que significa el desarrollo e implementación de muchos proyectos encuadrados dentro del concepto de **infraestructura verde** (sección 2.3.2.1).

Por otro lado, el desarrollo urbano hasta el momento, a nivel nacional y local se ha llevado a cabo sin el más mínimo cumplimiento a las necesidades de mitigación de los impactos de la urbanización, desde la construcción de una vivienda, grandes desarrollos inmobiliarios, hasta

los propios drenajes pluviales donde están incluidas como primer elemento, las superficies de las calles.

Con todo este panorama es evidente que el proyecto que en este trabajo de intervención se desarrolla tendrá un impacto tal vez imperceptible, incluso con su implementación, pero su importancia radica en que es un componente de la red de infraestructura que se requiere para mitigar por el momento, los efectos de la urbanización, y con un poco de esfuerzo, en un futuro llegar a compensarlo.

Las ciudades en nuestro país, incluyendo la ciudad de Culiacán Sinaloa, no cuentan con infraestructura verde y en consecuencia los escurrimientos tienen impactos catastróficos en muchas zonas.

A pesar de todas las variables con que se tuvo que trabajar en el desarrollo del proyecto, al final se llegó a un equilibrio, logrando una eficiencia aceptable en los objetivos principales del proyecto (captar, almacenar, regular y aportar agua de lluvia para riego de áreas verdes).

## **6.2 Recomendaciones**

La primera recomendación, recordando el mensaje ecológico que tiene que dar el parque, es reconsiderar, aumentar el almacenamiento de la laguna tres para captar el agua de lluvia que caen en los 16000m<sup>2</sup> que en este proyecto no fue posible definir por cuestiones de arquitectura.

Otra recomendación muy importante es implementar sistemas de filtración y oxigenación del agua en los estanques, ya sea con métodos mecánicos o biológicos, y probablemente promover actividades recreativas dentro de los estanques para contribuir en la oxigenación del agua.

Diseñar un sistema de distribución eficiente que complete la finalidad de este sistema, como sistema de aprovechamiento de agua de lluvia en el Parque Ecológico.

Almacenar donde sea factible el 100% del agua de lluvia captada por las áreas verdes y parques urbanos, de esta manera se logra más eficiencia en la reducción del impacto que se tiene también por la falta de espacios verdes o áreas permeables.

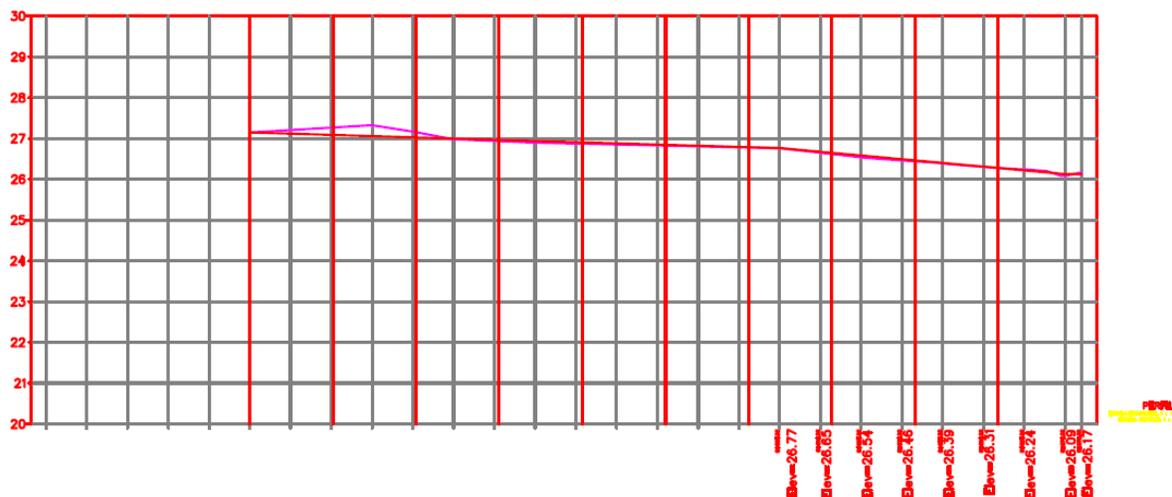
Otra recomendación muy importante es tener en cuenta que además de los estanque de detención y retención, existen muchas técnicas para reducir los efectos negativos de la urbanización retrasando el gasto pico de tormentas, por ejemplo, dentro de los parques y áreas verdes complementar las funciones de los estanques con técnicas de infiltración donde el suelo y la pendiente lo permitan, pavimentos permeables, entre otros.

## Anexo A

### Cálculo de pendiente media de los cauces analizados con la fórmula de Taylor-Schwarz

#### Sub-cuenca 1

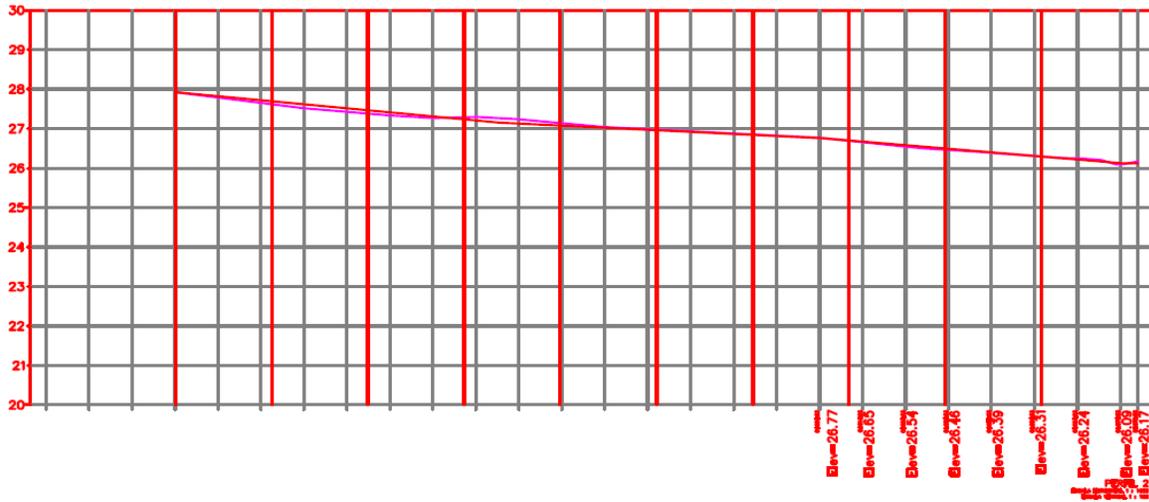
##### Cauce 1



| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |               |                      |
|--|------|---------------|----------------------|
| Cauce: 1, sub-cuenca 1                       |      |               |                      |
| m=   |      | 10 l(m)= 20.4 |                      |
| Tramo  | h    | S             | 1/(S) <sup>1/2</sup> |
| 1  | 0.06 | 0.0029        | 18.4391              |
| 2  | 0.06 | 0.0029        | 18.4391              |
| 3  | 0.06 | 0.0029        | 18.4391              |
| 4  | 0.06 | 0.0029        | 18.4391              |
| 5  | 0.06 | 0.0029        | 18.4391              |
| 6  | 0.06 | 0.0029        | 18.4391              |
| 7  | 0.14 | 0.0069        | 12.0712              |
| 8  | 0.19 | 0.0093        | 10.3619              |
| 9  | 0.18 | 0.0088        | 10.6458              |
| 10   | 0.16 | 0.0078        | 11.2916              |
|  |      | <b>Suma</b>   | 155.01               |
|  |      | <b>S=</b>     | 0.0042               |

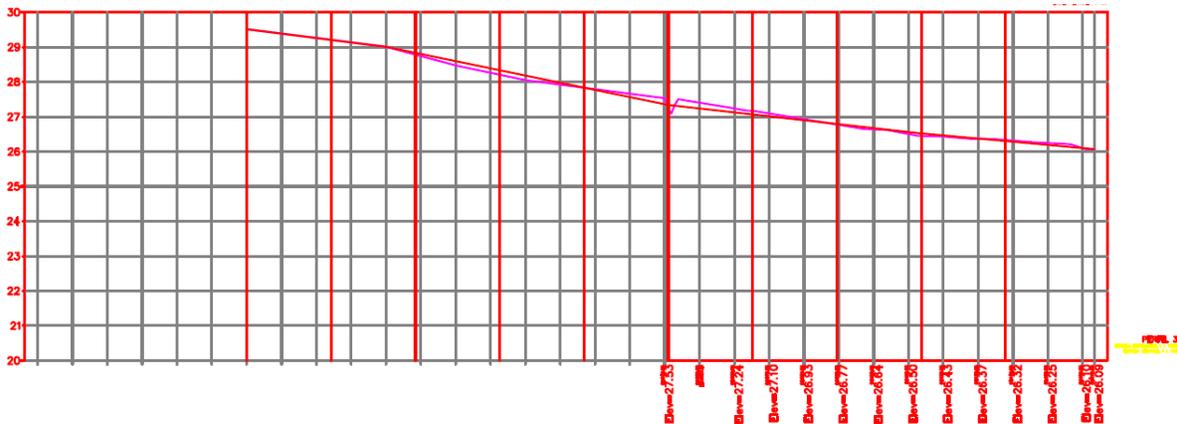
Cauce

2



| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |          |             |           |
|--|----------|-------------|-----------|
| Cauce: 2, sub-cuenca 1                       |          |             |           |
| m=   | 10 l(m)= |             | 22.4      |
| Tramo  | h        | S           | 1/(S)^1/2 |
| 1  | 0.23     | 0.0103      | 9.8687    |
| 2  | 0.23     | 0.0103      | 9.8687    |
| 3  | 0.23     | 0.0103      | 9.8687    |
| 4  | 0.16     | 0.0071      | 11.8322   |
| 5  | 0.12     | 0.0054      | 13.6626   |
| 6  | 0.12     | 0.0054      | 13.6626   |
| 7  | 0.15     | 0.0067      | 12.2202   |
| 8  | 0.2      | 0.0089      | 10.5830   |
| 9  | 0.20     | 0.0089      | 10.5830   |
| 10   | 0.18     | 0.0080      | 11.1555   |
|  |          | <b>Suma</b> | 113.31    |
|  |          | <b>S=</b>   | 0.0078    |

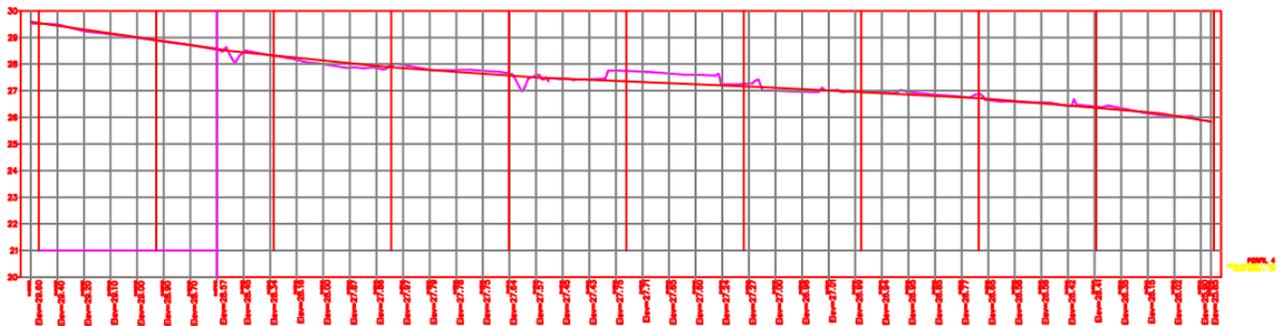
Cauce 3



| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |          |           |
|--|------|----------|-----------|
| Cauce: 3, sub-cuenca 1                       |      |          |           |
| m=   |      | 10 l(m)= | 24.21     |
| Tramo  | h    | S        | 1/(S)^1/2 |
| 1  | 0.31 | 0.0128   | 8.8372    |
| 2  | 0.38 | 0.0157   | 7.9819    |
| 3  | 0.5  | 0.0207   | 6.9584    |
| 4  | 0.5  | 0.0207   | 6.9584    |
| 5  | 0.5  | 0.0207   | 6.9584    |
| 6  | 0.27 | 0.0112   | 9.4692    |
| 7  | 0.27 | 0.0112   | 9.4692    |
| 8  | 0.27 | 0.0112   | 9.4692    |
| 9  | 0.22 | 0.0091   | 10.4903   |
| 10   | 0.22 | 0.0091   | 10.4903   |
| Suma   |      |          | 87.08     |
| S=   |      |          | 0.0132    |

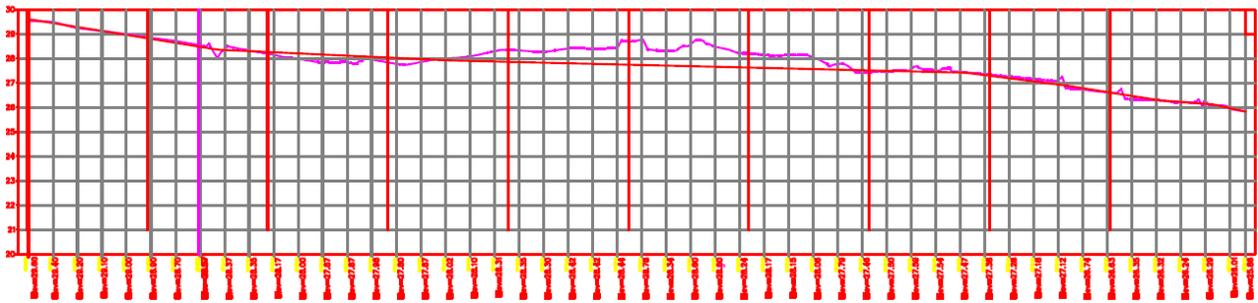
### Sub-cuenca 2

Cauce 4



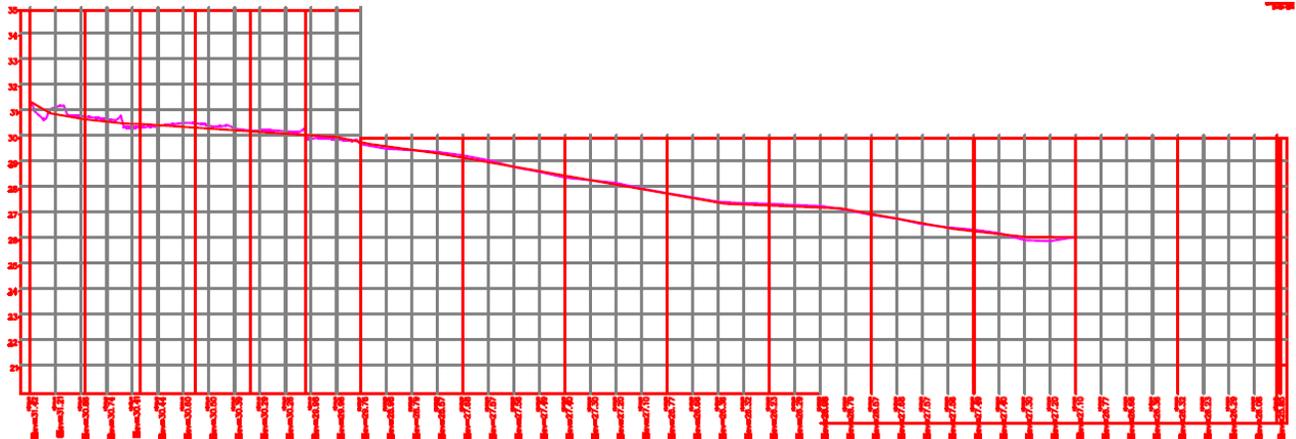
| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |          |           |
|--|------|----------|-----------|
| Cauce: 4, sub-cuenca 2                       |      |          |           |
| m=   |      | 10 l(m)= | 44.18     |
| Tramo  | h    | S        | 1/(S)^1/2 |
| 1  | 0.65 | 0.0147   | 8.2443    |
| 2  | 0.56 | 0.0127   | 8.8822    |
| 3  | 0.44 | 0.0100   | 10.0204   |
| 4  | 0.35 | 0.0079   | 11.2351   |
| 5  | 0.15 | 0.0034   | 17.1620   |
| 6  | 0.20 | 0.0045   | 14.8627   |
| 7  | 0.22 | 0.0050   | 14.1710   |
| 8  | 0.23 | 0.0052   | 13.8595   |
| 9  | 0.36 | 0.0081   | 11.0780   |
| 10   | 0.52 | 0.0118   | 9.2175    |
| Suma   |      |          | 118.73    |
| S=   |      |          | 0.0071    |

### Cauce 5



| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |          |             |                      |
|--|----------|-------------|----------------------|
| Cauce: 5, sub-cuenca 2                       |          |             |                      |
| m=   | 10 l(m)= |             | 49.06                |
| Tramo  | h        | S           | 1/(S) <sup>1/2</sup> |
| 1  | 0.78     | 0.0159      | 7.9308               |
| 2  | 0.56     | 0.0114      | 9.3599               |
| 3  | 0.23     | 0.0047      | 14.6049              |
| 4  | 0.17     | 0.0035      | 16.9879              |
| 5  | 0.12     | 0.0024      | 20.2196              |
| 6  | 0.12     | 0.0024      | 20.2196              |
| 7  | 0.115    | 0.0023      | 20.6545              |
| 8  | 0.22     | 0.0045      | 14.9332              |
| 9  | 0.68     | 0.0139      | 8.4939               |
| 10   | 0.78     | 0.0159      | 7.9308               |
|  |          | <b>Suma</b> | 141.34               |
|  |          | <b>S=</b>   | 0.0050               |

### Cauce 7

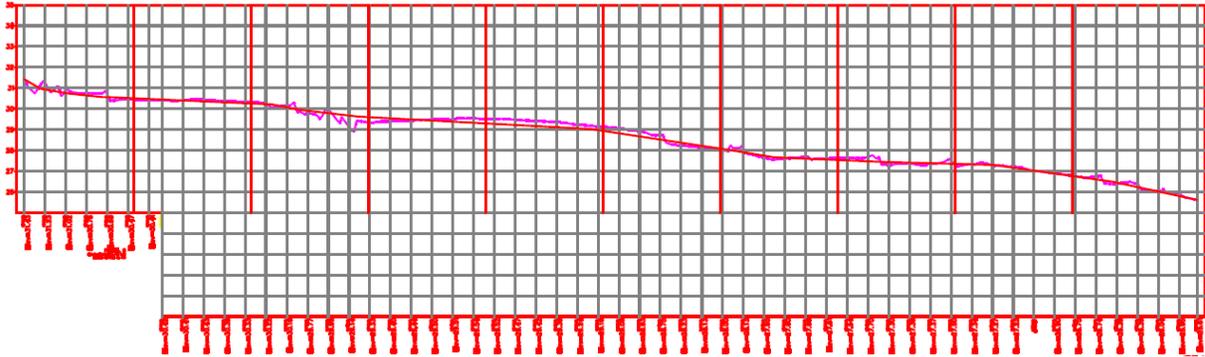


| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |             |                      |
|--|------|-------------|----------------------|
| Cauce: 7A, sub-cuenca 2                      |      |             |                      |
| m= 6   |      | l(m)= 21.57 |                      |
| Tramo  | h    | S           | 1/(S) <sup>1/2</sup> |
| 1  | 0.69 | 0.0320      | 5.5911               |
| 2  | 0.19 | 0.0088      | 10.6549              |
| 3  | 0.18 | 0.0083      | 10.9468              |
| 4  | 0.15 | 0.0070      | 11.9917              |
| 5  | 0.15 | 0.0070      | 11.9917              |
| 6  | 0.28 | 0.0130      | 8.7770               |
|  |      | <b>Suma</b> | 59.95                |
|  |      | <b>S=</b>   | 0.0100               |

| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |             |                      |
|--|------|-------------|----------------------|
| Cauce: 7B, sub-cuenca 2                      |      |             |                      |
| m= 7   |      | l(m)= 40    |                      |
| Tramo  | h    | S           | 1/(S) <sup>1/2</sup> |
| 1  | 0.61 | 0.0153      | 8.0978               |
| 2  | 0.7  | 0.0175      | 7.5593               |
| 3  | 0.7  | 0.0175      | 7.5593               |
| 4  | 0.46 | 0.0115      | 9.3250               |
| 5  | 0.36 | 0.0090      | 10.5409              |
| 6  | 0.79 | 0.0198      | 7.1157               |
| 7  | 0.24 | 0.0060      | 12.9099              |
|  |      | <b>Suma</b> | 63.11                |
|  |      | <b>S=</b>   | 0.0123               |

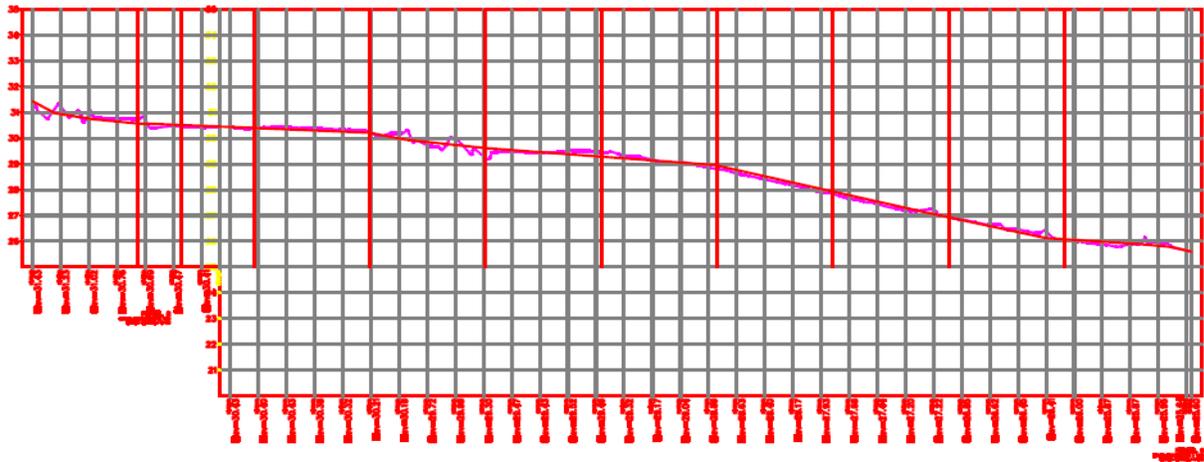
### Sub-cuenca 3

Cauce 8



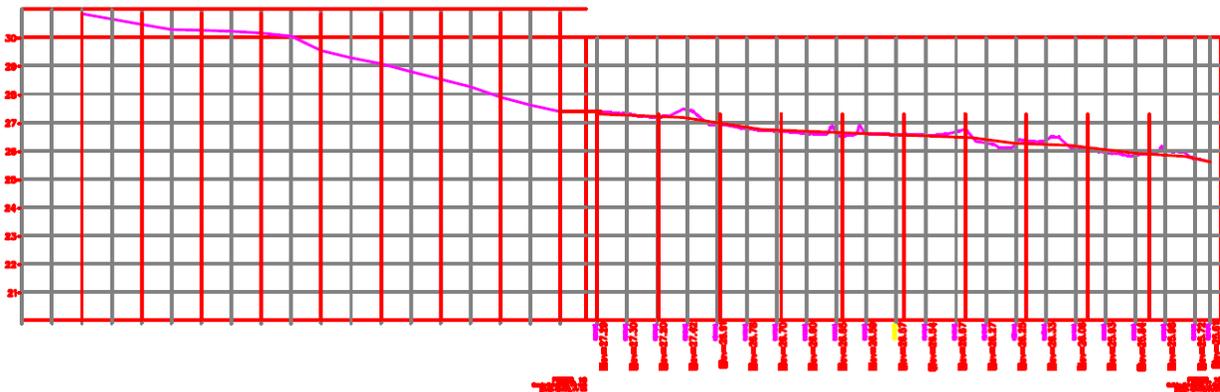
| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |             |                      |
|--|------|-------------|----------------------|
| Cauce: 8, sub-cuenca 3                       |      |             |                      |
| m= 10  |      | l(m)= 56.52 |                      |
| Tramo  | h    | S           | 1/(S) <sup>1/2</sup> |
| 1  | 0.92 | 0.0163      | 7.8380               |
| 2  | 0.56 | 0.0099      | 10.0463              |
| 3  | 0.25 | 0.0044      | 15.0360              |
| 4  | 0.66 | 0.0117      | 9.2540               |
| 5  | 0.3  | 0.0053      | 13.7259              |
| 6  | 0.36 | 0.0064      | 12.5300              |
| 7  | 0.85 | 0.0150      | 8.1544               |
| 8  | 0.55 | 0.0097      | 10.1372              |
| 9  | 0.18 | 0.0032      | 17.7200              |
| 10   | 0.58 | 0.0103      | 9.8716               |
|  |      | <b>Suma</b> | 114.31               |
|  |      | <b>S=</b>   | 0.0077               |

### Cauce 9



| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |       |             |           |
|--|-------|-------------|-----------|
| Cauce: 9, sub-cuenca 3                       |       |             |           |
| m=   | 10    | l(m)=       | 41.18     |
| Tramo  | h     | S           | 1/(S)^1/2 |
| 1  | 0.86  | 0.0209      | 6.9198    |
| 2  | 0.18  | 0.0044      | 15.1254   |
| 3  | 0.184 | 0.0045      | 14.9601   |
| 4  | 0.58  | 0.0141      | 8.4261    |
| 5  | 0.34  | 0.0083      | 11.0053   |
| 6  | 0.35  | 0.0085      | 10.8470   |
| 7  | 1     | 0.0243      | 6.4172    |
| 8  | 0.99  | 0.0240      | 6.4495    |
| 9  | 0.86  | 0.0209      | 6.9198    |
| 10   | 0.48  | 0.0117      | 9.2624    |
|  |       | <b>Suma</b> | 96.33     |
|  |       | <b>S=</b>   | 0.0108    |

### Cauce 10

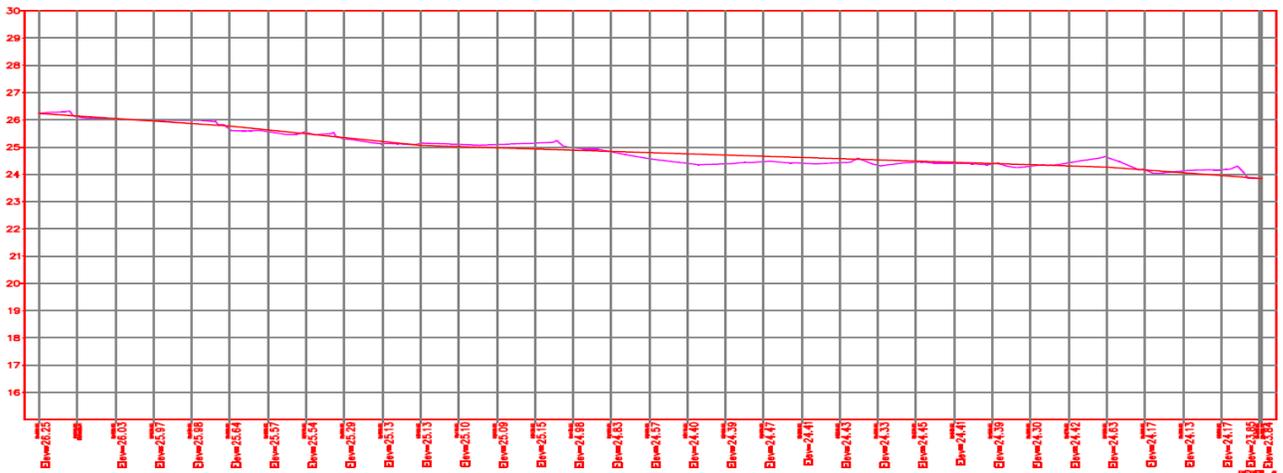


| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |             |           |
|--|------|-------------|-----------|
| Cauce: 10A, sub-cuenca 3                     |      |             |           |
| m=   |      | 8           | l(m)= 20  |
| Tramo  | h    | S           | 1/(S)^1/2 |
| 1  | 0.38 | 0.0190      | 7.2548    |
| 2  | 0.21 | 0.0105      | 9.7590    |
| 3  | 0.09 | 0.0045      | 14.9071   |
| 4  | 0.62 | 0.0310      | 5.6796    |
| 5  | 0.47 | 0.0235      | 6.5233    |
| 6  | 0.54 | 0.0270      | 6.0858    |
| 7  | 0.64 | 0.0320      | 5.5902    |
| 8  | 0.52 | 0.0260      | 6.2017    |
|  |      | <b>Suma</b> | 62.00     |
|  |      | <b>S=</b>   | 0.0166    |

| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |       |             |            |
|--|-------|-------------|------------|
| Cauce: 10B, sub-cuenca 3                     |       |             |            |
| m=   |       | 10          | l(m)= 20.5 |
| Tramo  | h     | S           | 1/(S)^1/2  |
| 1  | 0.09  | 0.0044      | 15.0923    |
| 2  | 0.23  | 0.0112      | 9.4409     |
| 3  | 0.25  | 0.0122      | 9.0554     |
| 4  | 0.08  | 0.0039      | 16.0078    |
| 5  | 0.082 | 0.0040      | 15.8114    |
| 6  | 0.10  | 0.0049      | 14.3178    |
| 7  | 0.224 | 0.0109      | 9.5665     |
| 8  | 0.13  | 0.0063      | 12.5576    |
| 9  | 0.24  | 0.0117      | 9.2421     |
| 10   | 0.29  | 0.0141      | 8.4077     |
|  |       | <b>Suma</b> | 119.50     |
|  |       | <b>S=</b>   | 0.0070     |

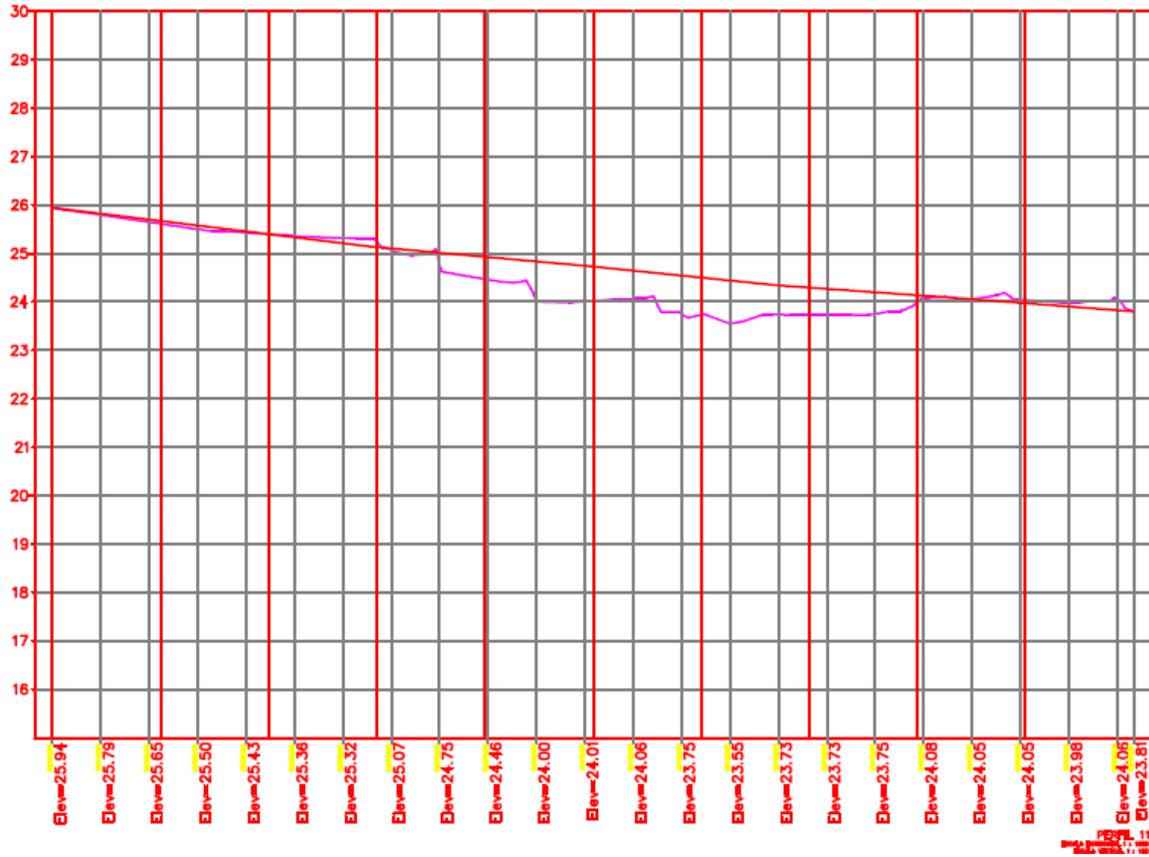
### Sub-cuenca 4

#### Cauce 6



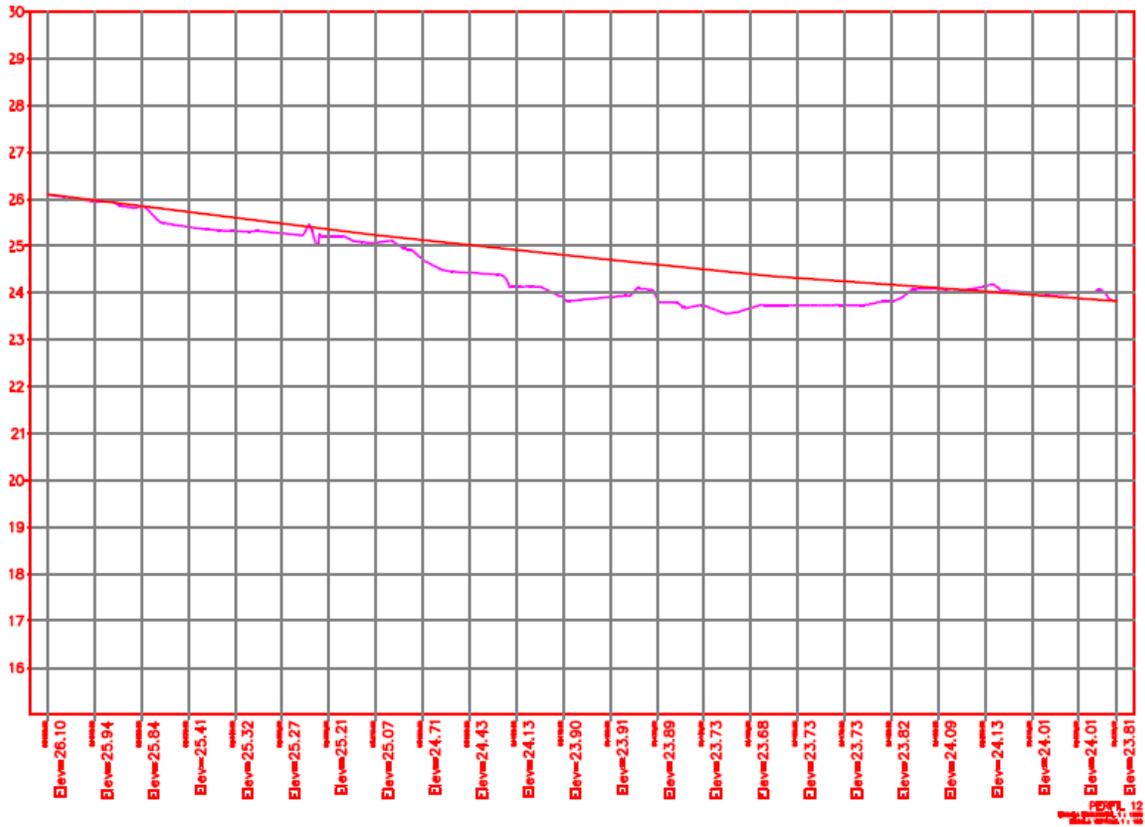
| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |             |           |
|--|------|-------------|-----------|
| Cauce: 6, sub-cuenca 4                       |      |             |           |
| m=   | 10   | l(m)=       | 32.07     |
| Tramo  | h    | S           | 1/(S)^1/2 |
| 1  | 0.3  | 0.0094      | 10.3392   |
| 2  | 0.37 | 0.0115      | 9.3100    |
| 3  | 0.45 | 0.0140      | 8.4420    |
| 4  | 0.18 | 0.0056      | 13.3479   |
| 5  | 0.14 | 0.0044      | 15.1351   |
| 6  | 0.14 | 0.0044      | 15.1351   |
| 7  | 0.14 | 0.0044      | 15.1351   |
| 8  | 0.14 | 0.0044      | 15.1351   |
| 9  | 0.19 | 0.0059      | 12.9919   |
| 10   | 0.33 | 0.0103      | 9.8581    |
|  |      | <b>Suma</b> | 124.83    |
|  |      | <b>S=</b>   | 0.0064    |

Cauce 11



| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |             |           |
|--|------|-------------|-----------|
| Cauce: 11, sub-cuenca 4                      |      |             |           |
| m=   |      | 10          | l(m)=     |
|  |      |             | 26.07     |
| Tramo  | h    | S           | 1/(S)^1/2 |
| 1  | 0.27 | 0.0104      | 9.8263    |
| 2  | 0.27 | 0.0104      | 9.8263    |
| 3  | 0.26 | 0.0100      | 10.0135   |
| 4  | 0.2  | 0.0077      | 11.4171   |
| 5  | 0.2  | 0.0077      | 11.4171   |
| 6  | 0.23 | 0.0088      | 10.6465   |
| 7  | 0.21 | 0.0081      | 11.1419   |
| 8  | 0.16 | 0.0061      | 12.7647   |
| 9  | 0.16 | 0.0061      | 12.7647   |
| 10   | 0.17 | 0.0065      | 12.3836   |
|  |      | <b>Suma</b> | 112.20    |
|  |      | <b>S=</b>   | 0.0079    |

Cauce 12

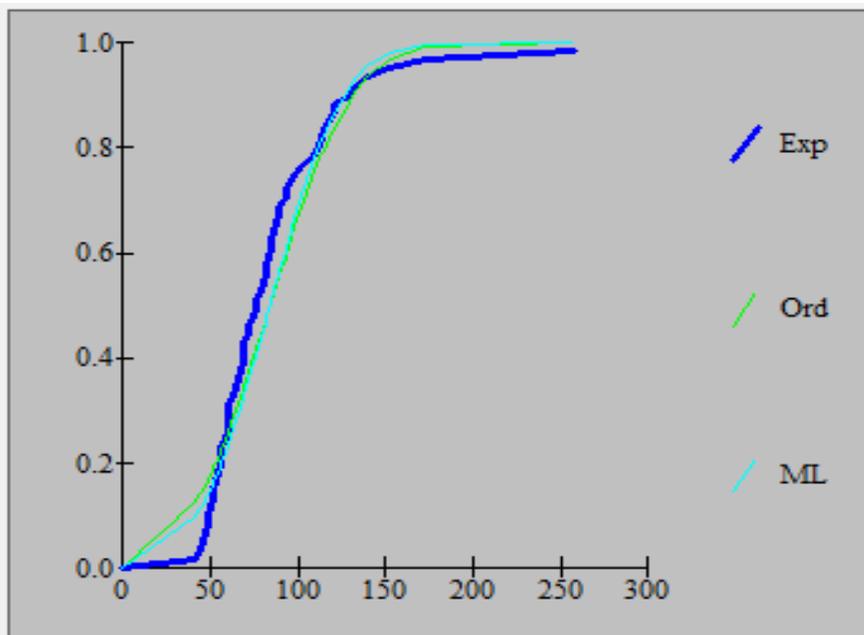


| Pendiente media de cauces (Taylor y Schwarz) |      |             |             |
|--|------|-------------|-------------|
| Cauce: 12, sub-cuenca 4                      |      |             |             |
| m=   |      | 10          | l(m)= 22.81 |
| Tramo  | h    | S           | 1/(S)^1/2   |
| 1  | 0.37 | 0.0162      | 7.8517      |
| 2  | 0.37 | 0.0162      | 7.8517      |
| 3  | 0.37 | 0.0162      | 7.8517      |
| 4  | 0.12 | 0.0053      | 13.7871     |
| 5  | 0.11 | 0.0048      | 14.4001     |
| 6  | 0.22 | 0.0096      | 10.1824     |
| 7  | 0.22 | 0.0096      | 10.1824     |
| 8  | 0.16 | 0.0070      | 11.9400     |
| 9  | 0.16 | 0.0070      | 11.9400     |
| 10   | 0.17 | 0.0075      | 11.5835     |
|  |      | <b>Suma</b> | 107.57      |
|  |      | <b>S=</b>   | 0.0086      |

## Anexo B

### Estación de CONAGUA

NORMAL



## Ajuste de una serie de datos a la distribución normal

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | F(Z)Ordinario | F(Z)MomLineal | Delta  |
|----|------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 42.0 | 0.0164 | 0.1273        | 0.1004        | 0.1109 |
| 2  | 44.5 | 0.0328 | 0.1419        | 0.1145        | 0.1091 |
| 3  | 45.5 | 0.0492 | 0.1481        | 0.1205        | 0.0989 |
| 4  | 47.0 | 0.0656 | 0.1577        | 0.1299        | 0.0921 |
| 5  | 48.6 | 0.0820 | 0.1684        | 0.1404        | 0.0864 |
| 6  | 48.8 | 0.0984 | 0.1698        | 0.1418        | 0.0714 |
| 7  | 49.5 | 0.1148 | 0.1746        | 0.1466        | 0.0599 |
| 8  | 51.3 | 0.1311 | 0.1875        | 0.1596        | 0.0563 |
| 9  | 51.7 | 0.1475 | 0.1904        | 0.1626        | 0.0429 |
| 10 | 53.0 | 0.1639 | 0.2001        | 0.1725        | 0.0362 |
| 11 | 53.7 | 0.1803 | 0.2055        | 0.1780        | 0.0252 |
| 12 | 55.5 | 0.1967 | 0.2196        | 0.1926        | 0.0229 |
| 13 | 56.0 | 0.2131 | 0.2237        | 0.1968        | 0.0106 |
| 14 | 56.3 | 0.2295 | 0.2261        | 0.1994        | 0.0034 |
| 15 | 58.7 | 0.2459 | 0.2462        | 0.2204        | 0.0003 |
| 16 | 60.0 | 0.2623 | 0.2574        | 0.2323        | 0.0049 |
| 17 | 60.0 | 0.2787 | 0.2574        | 0.2323        | 0.0213 |
| 18 | 60.0 | 0.2951 | 0.2574        | 0.2323        | 0.0377 |
| 19 | 60.1 | 0.3115 | 0.2583        | 0.2332        | 0.0532 |
| 20 | 63.6 | 0.3279 | 0.2899        | 0.2671        | 0.0380 |
| 21 | 64.8 | 0.3443 | 0.3011        | 0.2792        | 0.0432 |
| 22 | 66.0 | 0.3607 | 0.3125        | 0.2916        | 0.0481 |
| 23 | 66.8 | 0.3770 | 0.3203        | 0.3000        | 0.0568 |
| 24 | 68.0 | 0.3934 | 0.3320        | 0.3129        | 0.0615 |
| 25 | 68.4 | 0.4098 | 0.3359        | 0.3172        | 0.0739 |
| 26 | 69.3 | 0.4262 | 0.3449        | 0.3270        | 0.0814 |
| 27 | 70.8 | 0.4426 | 0.3600        | 0.3437        | 0.0826 |
| 28 | 70.8 | 0.4590 | 0.3600        | 0.3437        | 0.0990 |
| 29 | 75.0 | 0.4754 | 0.4034        | 0.3918        | 0.0720 |
| 30 | 76.0 | 0.4918 | 0.4139        | 0.4035        | 0.0779 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 31 | 76.5  | 0.5082 | 0.4192 | 0.4094 | 0.0890 |
| 32 | 78.8  | 0.5246 | 0.4437 | 0.4368 | 0.0809 |
| 33 | 80.0  | 0.5410 | 0.4566 | 0.4513 | 0.0844 |
| 34 | 81.0  | 0.5574 | 0.4673 | 0.4634 | 0.0900 |
| 35 | 82.0  | 0.5738 | 0.4781 | 0.4755 | 0.0956 |
| 36 | 83.5  | 0.5902 | 0.4944 | 0.4937 | 0.0958 |
| 37 | 84.0  | 0.6066 | 0.4998 | 0.4997 | 0.1068 |
| 38 | 85.0  | 0.6230 | 0.5106 | 0.5119 | 0.1124 |
| 39 | 86.0  | 0.6393 | 0.5214 | 0.5240 | 0.1180 |
| 40 | 88.0  | 0.6557 | 0.5430 | 0.5482 | 0.1128 |
| 41 | 88.5  | 0.6721 | 0.5483 | 0.5542 | 0.1238 |
| 42 | 89.5  | 0.6885 | 0.5590 | 0.5662 | 0.1295 |
| 43 | 92.6  | 0.7049 | 0.5920 | 0.6030 | 0.1130 |
| 44 | 93.0  | 0.7213 | 0.5962 | 0.6077 | 0.1251 |
| 45 | 96.0  | 0.7377 | 0.6273 | 0.6423 | 0.1104 |
| 46 | 98.3  | 0.7541 | 0.6507 | 0.6681 | 0.1034 |
| 47 | 103.5 | 0.7705 | 0.7013 | 0.7234 | 0.0692 |
| 48 | 109.7 | 0.7869 | 0.7569 | 0.7828 | 0.0300 |
| 49 | 112.5 | 0.8033 | 0.7800 | 0.8070 | 0.0233 |
| 50 | 113.5 | 0.8197 | 0.7880 | 0.8153 | 0.0317 |
| 51 | 114.5 | 0.8361 | 0.7957 | 0.8233 | 0.0403 |
| 52 | 117.5 | 0.8525 | 0.8180 | 0.8459 | 0.0345 |
| 53 | 120.0 | 0.8689 | 0.8354 | 0.8633 | 0.0335 |
| 54 | 120.0 | 0.8852 | 0.8354 | 0.8633 | 0.0499 |
| 55 | 129.0 | 0.9016 | 0.8887 | 0.9145 | 0.0129 |
| 56 | 134.0 | 0.9180 | 0.9123 | 0.9359 | 0.0057 |
| 57 | 140.0 | 0.9344 | 0.9355 | 0.9558 | 0.0011 |
| 58 | 152.2 | 0.9508 | 0.9678 | 0.9810 | 0.0169 |
| 59 | 172.5 | 0.9672 | 0.9918 | 0.9965 | 0.0246 |
| 60 | 258.0 | 0.9836 | 1.0000 | 1.0000 | 0.0164 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1295, es menor que el delta tabular 0.1756. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución normal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización ( $X_m$ )= 84.0217

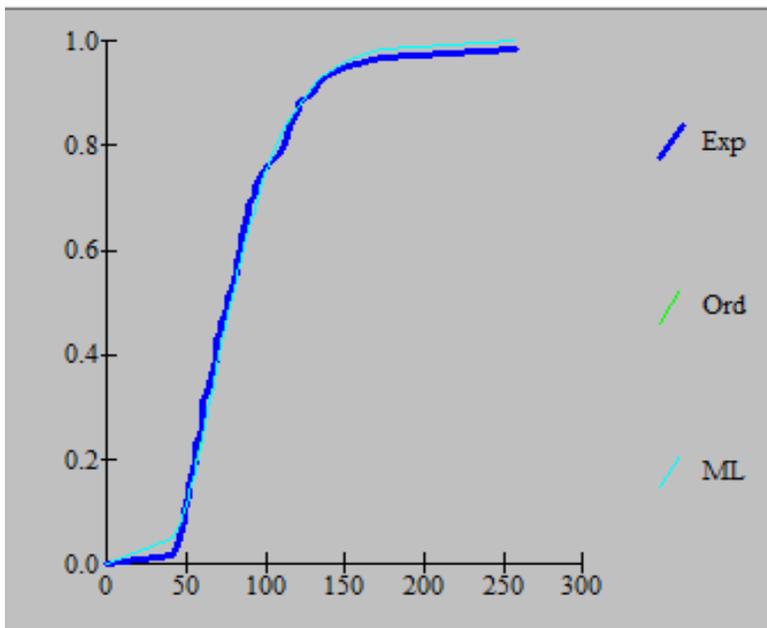
Parámetro de escala ( $S$ )= 36.8786

Con momentos lineales:

Media lineal ( $X_l$ )= 84.0217

Desviación estándar lineal ( $S_l$ )= 32.848

LOGNORMAL2



Ajuste de una serie de datos a la distribución lognormal de 2 parámetros

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m | X    | P(X)   | F(Z)Ordinario | F(Z)MomLineal | Delta  |
|---|------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1 | 42.0 | 0.0164 | 0.0484        | 0.0483        | 0.0320 |
| 2 | 44.5 | 0.0328 | 0.0661        | 0.0659        | 0.0334 |
| 3 | 45.5 | 0.0492 | 0.0742        | 0.0739        | 0.0250 |
| 4 | 47.0 | 0.0656 | 0.0871        | 0.0869        | 0.0216 |
| 5 | 48.6 | 0.0820 | 0.1023        | 0.1020        | 0.0203 |
| 6 | 48.8 | 0.0984 | 0.1042        | 0.1040        | 0.0059 |

|    |      |        |        |        |        |
|----|------|--------|--------|--------|--------|
| 7  | 49.5 | 0.1148 | 0.1113 | 0.1111 | 0.0035 |
| 8  | 51.3 | 0.1311 | 0.1305 | 0.1303 | 0.0006 |
| 9  | 51.7 | 0.1475 | 0.1350 | 0.1348 | 0.0125 |
| 10 | 53.0 | 0.1639 | 0.1500 | 0.1497 | 0.0139 |
| 11 | 53.7 | 0.1803 | 0.1583 | 0.1581 | 0.0220 |
| 12 | 55.5 | 0.1967 | 0.1807 | 0.1804 | 0.0161 |
| 13 | 56.0 | 0.2131 | 0.1870 | 0.1868 | 0.0261 |
| 14 | 56.3 | 0.2295 | 0.1909 | 0.1907 | 0.0386 |
| 15 | 58.7 | 0.2459 | 0.2229 | 0.2226 | 0.0230 |
| 16 | 60.0 | 0.2623 | 0.2408 | 0.2405 | 0.0215 |
| 17 | 60.0 | 0.2787 | 0.2408 | 0.2405 | 0.0379 |
| 18 | 60.0 | 0.2951 | 0.2408 | 0.2405 | 0.0543 |
| 19 | 60.1 | 0.3115 | 0.2422 | 0.2419 | 0.0693 |
| 20 | 63.6 | 0.3279 | 0.2920 | 0.2918 | 0.0359 |
| 21 | 64.8 | 0.3443 | 0.3094 | 0.3092 | 0.0348 |
| 22 | 66.0 | 0.3607 | 0.3270 | 0.3268 | 0.0337 |
| 23 | 66.8 | 0.3770 | 0.3387 | 0.3385 | 0.0383 |
| 24 | 68.0 | 0.3934 | 0.3563 | 0.3562 | 0.0371 |
| 25 | 68.4 | 0.4098 | 0.3622 | 0.3621 | 0.0476 |
| 26 | 69.3 | 0.4262 | 0.3754 | 0.3753 | 0.0508 |
| 27 | 70.8 | 0.4426 | 0.3974 | 0.3973 | 0.0452 |
| 28 | 70.8 | 0.4590 | 0.3974 | 0.3973 | 0.0616 |
| 29 | 75.0 | 0.4754 | 0.4580 | 0.4579 | 0.0174 |
| 30 | 76.0 | 0.4918 | 0.4721 | 0.4721 | 0.0197 |
| 31 | 76.5 | 0.5082 | 0.4791 | 0.4791 | 0.0291 |
| 32 | 78.8 | 0.5246 | 0.5108 | 0.5108 | 0.0138 |
| 33 | 80.0 | 0.5410 | 0.5269 | 0.5269 | 0.0141 |
| 34 | 81.0 | 0.5574 | 0.5401 | 0.5402 | 0.0172 |
| 35 | 82.0 | 0.5738 | 0.5532 | 0.5532 | 0.0206 |
| 36 | 83.5 | 0.5902 | 0.5723 | 0.5724 | 0.0178 |
| 37 | 84.0 | 0.6066 | 0.5786 | 0.5787 | 0.0280 |
| 38 | 85.0 | 0.6230 | 0.5910 | 0.5911 | 0.0320 |
| 39 | 86.0 | 0.6393 | 0.6031 | 0.6032 | 0.0362 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 40 | 88.0  | 0.6557 | 0.6267 | 0.6268 | 0.0291 |
| 41 | 88.5  | 0.6721 | 0.6324 | 0.6325 | 0.0397 |
| 42 | 89.5  | 0.6885 | 0.6437 | 0.6438 | 0.0448 |
| 43 | 92.6  | 0.7049 | 0.6771 | 0.6773 | 0.0278 |
| 44 | 93.0  | 0.7213 | 0.6812 | 0.6814 | 0.0401 |
| 45 | 96.0  | 0.7377 | 0.7110 | 0.7112 | 0.0267 |
| 46 | 98.3  | 0.7541 | 0.7323 | 0.7325 | 0.0218 |
| 47 | 103.5 | 0.7705 | 0.7758 | 0.7760 | 0.0053 |
| 48 | 109.7 | 0.7869 | 0.8196 | 0.8199 | 0.0328 |
| 49 | 112.5 | 0.8033 | 0.8368 | 0.8371 | 0.0336 |
| 50 | 113.5 | 0.8197 | 0.8426 | 0.8429 | 0.0229 |
| 51 | 114.5 | 0.8361 | 0.8482 | 0.8485 | 0.0122 |
| 52 | 117.5 | 0.8525 | 0.8639 | 0.8642 | 0.0115 |
| 53 | 120.0 | 0.8689 | 0.8759 | 0.8761 | 0.0070 |
| 54 | 120.0 | 0.8852 | 0.8759 | 0.8761 | 0.0094 |
| 55 | 129.0 | 0.9016 | 0.9113 | 0.9115 | 0.0096 |
| 56 | 134.0 | 0.9180 | 0.9265 | 0.9267 | 0.0085 |
| 57 | 140.0 | 0.9344 | 0.9415 | 0.9417 | 0.0071 |
| 58 | 152.2 | 0.9508 | 0.9634 | 0.9636 | 0.0126 |
| 59 | 172.5 | 0.9672 | 0.9833 | 0.9834 | 0.0161 |
| 60 | 258.0 | 0.9836 | 0.9993 | 0.9993 | 0.0157 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0693, es menor que el delta tabular 0.1756. Los datos se ajustan a la distribución logNormal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución logNormal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de escala ( $\mu_y$ )= 4.3569

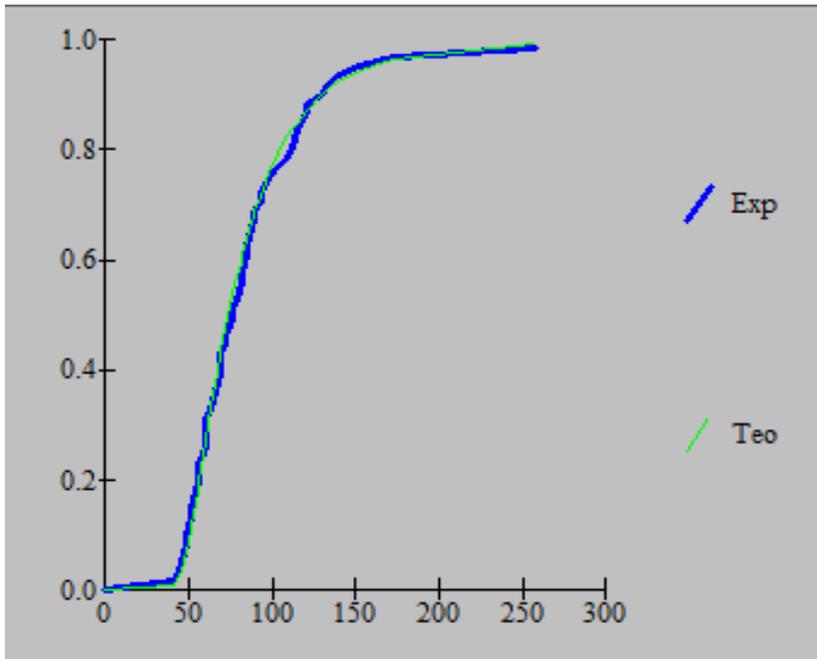
Parámetro de forma ( $S_y$ )= 0.373

Con momentos lineales:

Parámetro de escala ( $\mu_{yl}$ )= 4.3569

Parámetro de forma ( $S_{yl}$ )= 0.3726

### LOGNORMAL3



Ajuste de una serie de datos a la distribución lognormal de 3 parámetros

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | Z       | F(Z)   | Delta  |
|----|------|--------|---------|--------|--------|
| 1  | 42.0 | 0.0164 | -2.3380 | 0.0097 | 0.0067 |
| 2  | 44.5 | 0.0328 | -1.9406 | 0.0262 | 0.0066 |
| 3  | 45.5 | 0.0492 | -1.8077 | 0.0353 | 0.0139 |
| 4  | 47.0 | 0.0656 | -1.6288 | 0.0517 | 0.0139 |
| 5  | 48.6 | 0.0820 | -1.4594 | 0.0722 | 0.0097 |
| 6  | 48.8 | 0.0984 | -1.4396 | 0.0750 | 0.0234 |
| 7  | 49.5 | 0.1148 | -1.3722 | 0.0850 | 0.0298 |
| 8  | 51.3 | 0.1311 | -1.2120 | 0.1128 | 0.0184 |
| 9  | 51.7 | 0.1475 | -1.1786 | 0.1193 | 0.0283 |
| 10 | 53.0 | 0.1639 | -1.0753 | 0.1411 | 0.0228 |
| 11 | 53.7 | 0.1803 | -1.0226 | 0.1533 | 0.0271 |
| 12 | 55.5 | 0.1967 | -0.8952 | 0.1853 | 0.0114 |
| 13 | 56.0 | 0.2131 | -0.8617 | 0.1944 | 0.0187 |
| 14 | 56.3 | 0.2295 | -0.8419 | 0.1999 | 0.0296 |

|    |       |        |         |        |        |
|----|-------|--------|---------|--------|--------|
| 15 | 58.7  | 0.2459 | -0.6930 | 0.2442 | 0.0017 |
| 16 | 60.0  | 0.2623 | -0.6183 | 0.2682 | 0.0059 |
| 17 | 60.0  | 0.2787 | -0.6183 | 0.2682 | 0.0105 |
| 18 | 60.0  | 0.2951 | -0.6183 | 0.2682 | 0.0269 |
| 19 | 60.1  | 0.3115 | -0.6127 | 0.2700 | 0.0414 |
| 20 | 63.6  | 0.3279 | -0.4294 | 0.3338 | 0.0059 |
| 21 | 64.8  | 0.3443 | -0.3715 | 0.3551 | 0.0109 |
| 22 | 66.0  | 0.3607 | -0.3159 | 0.3761 | 0.0154 |
| 23 | 66.8  | 0.3770 | -0.2799 | 0.3898 | 0.0127 |
| 24 | 68.0  | 0.3934 | -0.2276 | 0.4100 | 0.0165 |
| 25 | 68.4  | 0.4098 | -0.2106 | 0.4166 | 0.0068 |
| 26 | 69.3  | 0.4262 | -0.1730 | 0.4313 | 0.0051 |
| 27 | 70.8  | 0.4426 | -0.1124 | 0.4553 | 0.0126 |
| 28 | 70.8  | 0.4590 | -0.1124 | 0.4553 | 0.0038 |
| 29 | 75.0  | 0.4754 | 0.0450  | 0.5179 | 0.0425 |
| 30 | 76.0  | 0.4918 | 0.0800  | 0.5319 | 0.0401 |
| 31 | 76.5  | 0.5082 | 0.0973  | 0.5387 | 0.0305 |
| 32 | 78.8  | 0.5246 | 0.1740  | 0.5691 | 0.0445 |
| 33 | 80.0  | 0.5410 | 0.2125  | 0.5841 | 0.0431 |
| 34 | 81.0  | 0.5574 | 0.2438  | 0.5963 | 0.0389 |
| 35 | 82.0  | 0.5738 | 0.2744  | 0.6081 | 0.0343 |
| 36 | 83.5  | 0.5902 | 0.3192  | 0.6252 | 0.0350 |
| 37 | 84.0  | 0.6066 | 0.3338  | 0.6307 | 0.0242 |
| 38 | 85.0  | 0.6230 | 0.3626  | 0.6416 | 0.0186 |
| 39 | 86.0  | 0.6393 | 0.3909  | 0.6521 | 0.0127 |
| 40 | 88.0  | 0.6557 | 0.4458  | 0.6721 | 0.0164 |
| 41 | 88.5  | 0.6721 | 0.4592  | 0.6770 | 0.0048 |
| 42 | 89.5  | 0.6885 | 0.4857  | 0.6864 | 0.0021 |
| 43 | 92.6  | 0.7049 | 0.5648  | 0.7139 | 0.0090 |
| 44 | 93.0  | 0.7213 | 0.5747  | 0.7173 | 0.0041 |
| 45 | 96.0  | 0.7377 | 0.6469  | 0.7411 | 0.0034 |
| 46 | 98.3  | 0.7541 | 0.6999  | 0.7580 | 0.0039 |
| 47 | 103.5 | 0.7705 | 0.8130  | 0.7919 | 0.0214 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 48 | 109.7 | 0.7869 | 0.9374 | 0.8257 | 0.0388 |
| 49 | 112.5 | 0.8033 | 0.9902 | 0.8390 | 0.0357 |
| 50 | 113.5 | 0.8197 | 1.0086 | 0.8434 | 0.0237 |
| 51 | 114.5 | 0.8361 | 1.0268 | 0.8477 | 0.0117 |
| 52 | 117.5 | 0.8525 | 1.0800 | 0.8599 | 0.0075 |
| 53 | 120.0 | 0.8689 | 1.1230 | 0.8693 | 0.0004 |
| 54 | 120.0 | 0.8852 | 1.1230 | 0.8693 | 0.0160 |
| 55 | 129.0 | 0.9016 | 1.2678 | 0.8976 | 0.0041 |
| 56 | 134.0 | 0.9180 | 1.3424 | 0.9103 | 0.0078 |
| 57 | 140.0 | 0.9344 | 1.4271 | 0.9232 | 0.0112 |
| 58 | 152.2 | 0.9508 | 1.5856 | 0.9436 | 0.0072 |
| 59 | 172.5 | 0.9672 | 1.8161 | 0.9653 | 0.0019 |
| 60 | 258.0 | 0.9836 | 2.5154 | 0.9941 | 0.0104 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0445, es menor que el delta tabular 0.1756. Los datos se ajustan a la distribución logNormal 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%

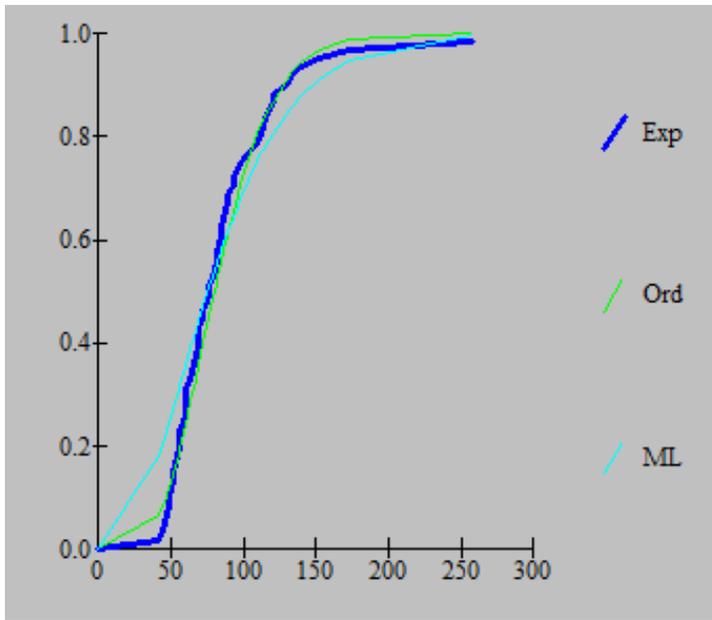
Parámetros de la distribución lognormal:

Parámetro de posición ( $x_0$ )= 34.047

Parámetro de escala ( $\mu_y$ )= 3.6815

Parámetro de forma ( $S_y$ )= 0.6877

GAMMA2



Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 2 parámetros

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | G(Y)Ordinario | G(Y)MomLineal | Delta  |
|----|------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 42.0 | 0.0164 | 0.0669        | 0.1817        | 0.0505 |
| 2  | 44.5 | 0.0328 | 0.0843        | 0.2044        | 0.0515 |
| 3  | 45.5 | 0.0492 | 0.0919        | 0.2136        | 0.0427 |
| 4  | 47.0 | 0.0656 | 0.1041        | 0.2277        | 0.0385 |
| 5  | 48.6 | 0.0820 | 0.1179        | 0.2429        | 0.0359 |
| 6  | 48.8 | 0.0984 | 0.1197        | 0.2448        | 0.0213 |
| 7  | 49.5 | 0.1148 | 0.1261        | 0.2515        | 0.0113 |
| 8  | 51.3 | 0.1311 | 0.1433        | 0.2689        | 0.0121 |
| 9  | 51.7 | 0.1475 | 0.1473        | 0.2728        | 0.0003 |
| 10 | 53.0 | 0.1639 | 0.1605        | 0.2854        | 0.0034 |
| 11 | 53.7 | 0.1803 | 0.1678        | 0.2923        | 0.0125 |
| 12 | 55.5 | 0.1967 | 0.1874        | 0.3099        | 0.0093 |
| 13 | 56.0 | 0.2131 | 0.1930        | 0.3148        | 0.0202 |
| 14 | 56.3 | 0.2295 | 0.1963        | 0.3178        | 0.0332 |
| 15 | 58.7 | 0.2459 | 0.2242        | 0.3414        | 0.0217 |
| 16 | 60.0 | 0.2623 | 0.2398        | 0.3541        | 0.0225 |
| 17 | 60.0 | 0.2787 | 0.2398        | 0.3541        | 0.0389 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 18 | 60.0  | 0.2951 | 0.2398 | 0.3541 | 0.0553 |
| 19 | 60.1  | 0.3115 | 0.2410 | 0.3551 | 0.0704 |
| 20 | 63.6  | 0.3279 | 0.2847 | 0.3893 | 0.0432 |
| 21 | 64.8  | 0.3443 | 0.3001 | 0.4009 | 0.0442 |
| 22 | 66.0  | 0.3607 | 0.3157 | 0.4125 | 0.0450 |
| 23 | 66.8  | 0.3770 | 0.3261 | 0.4202 | 0.0509 |
| 24 | 68.0  | 0.3934 | 0.3419 | 0.4317 | 0.0516 |
| 25 | 68.4  | 0.4098 | 0.3472 | 0.4355 | 0.0627 |
| 26 | 69.3  | 0.4262 | 0.3591 | 0.4440 | 0.0672 |
| 27 | 70.8  | 0.4426 | 0.3790 | 0.4581 | 0.0637 |
| 28 | 70.8  | 0.4590 | 0.3790 | 0.4581 | 0.0801 |
| 29 | 75.0  | 0.4754 | 0.4347 | 0.4967 | 0.0407 |
| 30 | 76.0  | 0.4918 | 0.4479 | 0.5057 | 0.0439 |
| 31 | 76.5  | 0.5082 | 0.4545 | 0.5102 | 0.0537 |
| 32 | 78.8  | 0.5246 | 0.4845 | 0.5305 | 0.0401 |
| 33 | 80.0  | 0.5410 | 0.5000 | 0.5409 | 0.0410 |
| 34 | 81.0  | 0.5574 | 0.5128 | 0.5495 | 0.0446 |
| 35 | 82.0  | 0.5738 | 0.5255 | 0.5579 | 0.0483 |
| 36 | 83.5  | 0.5902 | 0.5442 | 0.5705 | 0.0460 |
| 37 | 84.0  | 0.6066 | 0.5504 | 0.5746 | 0.0562 |
| 38 | 85.0  | 0.6230 | 0.5626 | 0.5828 | 0.0603 |
| 39 | 86.0  | 0.6393 | 0.5747 | 0.5909 | 0.0646 |
| 40 | 88.0  | 0.6557 | 0.5984 | 0.6067 | 0.0573 |
| 41 | 88.5  | 0.6721 | 0.6042 | 0.6106 | 0.0679 |
| 42 | 89.5  | 0.6885 | 0.6157 | 0.6184 | 0.0728 |
| 43 | 92.6  | 0.7049 | 0.6502 | 0.6417 | 0.0547 |
| 44 | 93.0  | 0.7213 | 0.6545 | 0.6446 | 0.0668 |
| 45 | 96.0  | 0.7377 | 0.6858 | 0.6660 | 0.0519 |
| 46 | 98.3  | 0.7541 | 0.7085 | 0.6819 | 0.0456 |
| 47 | 103.5 | 0.7705 | 0.7557 | 0.7155 | 0.0148 |
| 48 | 109.7 | 0.7869 | 0.8044 | 0.7520 | 0.0175 |
| 49 | 112.5 | 0.8033 | 0.8238 | 0.7673 | 0.0205 |
| 50 | 113.5 | 0.8197 | 0.8304 | 0.7725 | 0.0107 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 51 | 114.5 | 0.8361 | 0.8367 | 0.7777 | 0.0006 |
| 52 | 117.5 | 0.8525 | 0.8546 | 0.7925 | 0.0022 |
| 53 | 120.0 | 0.8689 | 0.8683 | 0.8043 | 0.0005 |
| 54 | 120.0 | 0.8852 | 0.8683 | 0.8043 | 0.0169 |
| 55 | 129.0 | 0.9016 | 0.9091 | 0.8421 | 0.0075 |
| 56 | 134.0 | 0.9180 | 0.9267 | 0.8603 | 0.0086 |
| 57 | 140.0 | 0.9344 | 0.9438 | 0.8796 | 0.0093 |
| 58 | 152.2 | 0.9508 | 0.9680 | 0.9118 | 0.0172 |
| 59 | 172.5 | 0.9672 | 0.9882 | 0.9484 | 0.0210 |
| 60 | 258.0 | 0.9836 | 0.9999 | 0.9956 | 0.0163 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0801, es menor que el delta tabular 0.1756. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Los 2 parámetros de la distribución Gamma:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de forma (gamma)= 6.899

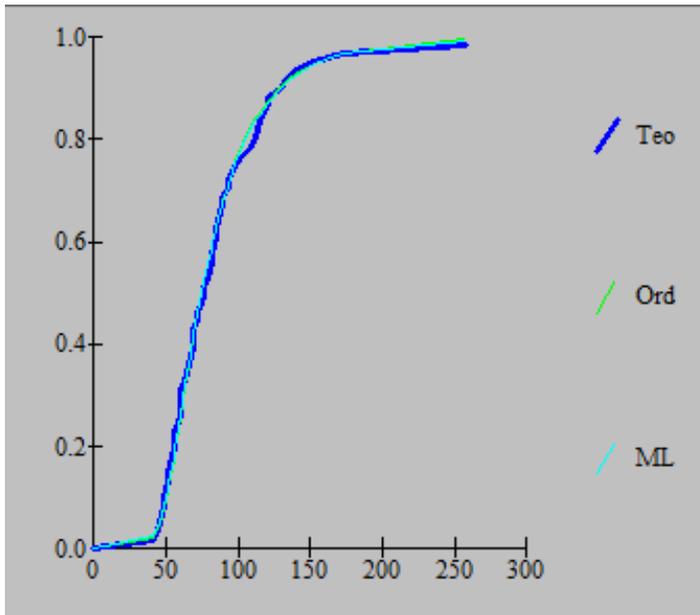
Parámetro de escala (beta)= 12.1787

Con momentos lineales:

Parámetro de forma (gammal)= 3.1668

Parámetro de escala (betal)= 26.5323

## LOGPEARSON3



Ajuste de una serie de datos a la distribución Log-Pearson tipo III

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | G(Y)Ordinario | G(Y)MomLineal | Delta  |
|----|------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 42.0 | 0.0164 | 0.0217        | 0.0235        | 0.0053 |
| 2  | 44.5 | 0.0328 | 0.0392        | 0.0418        | 0.0064 |
| 3  | 45.5 | 0.0492 | 0.0480        | 0.0508        | 0.0012 |
| 4  | 47.0 | 0.0656 | 0.0630        | 0.0661        | 0.0026 |
| 5  | 48.6 | 0.0820 | 0.0812        | 0.0847        | 0.0008 |
| 6  | 48.8 | 0.0984 | 0.0836        | 0.0872        | 0.0147 |
| 7  | 49.5 | 0.1148 | 0.0924        | 0.0961        | 0.0224 |
| 8  | 51.3 | 0.1311 | 0.1167        | 0.1205        | 0.0145 |
| 9  | 51.7 | 0.1475 | 0.1224        | 0.1263        | 0.0252 |
| 10 | 53.0 | 0.1639 | 0.1415        | 0.1455        | 0.0224 |
| 11 | 53.7 | 0.1803 | 0.1523        | 0.1563        | 0.0281 |
| 12 | 55.5 | 0.1967 | 0.1808        | 0.1849        | 0.0159 |
| 13 | 56.0 | 0.2131 | 0.1890        | 0.1930        | 0.0241 |
| 14 | 56.3 | 0.2295 | 0.1939        | 0.1979        | 0.0356 |
| 15 | 58.7 | 0.2459 | 0.2343        | 0.2381        | 0.0116 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 16 | 60.0  | 0.2623 | 0.2566 | 0.2603 | 0.0057 |
| 17 | 60.0  | 0.2787 | 0.2566 | 0.2603 | 0.0221 |
| 18 | 60.0  | 0.2951 | 0.2566 | 0.2603 | 0.0385 |
| 19 | 60.1  | 0.3115 | 0.2583 | 0.2620 | 0.0532 |
| 20 | 63.6  | 0.3279 | 0.3187 | 0.3219 | 0.0091 |
| 21 | 64.8  | 0.3443 | 0.3393 | 0.3422 | 0.0049 |
| 22 | 66.0  | 0.3607 | 0.3597 | 0.3624 | 0.0009 |
| 23 | 66.8  | 0.3770 | 0.3732 | 0.3757 | 0.0039 |
| 24 | 68.0  | 0.3934 | 0.3931 | 0.3954 | 0.0003 |
| 25 | 68.4  | 0.4098 | 0.3997 | 0.4019 | 0.0101 |
| 26 | 69.3  | 0.4262 | 0.4144 | 0.4164 | 0.0118 |
| 27 | 70.8  | 0.4426 | 0.4385 | 0.4401 | 0.0042 |
| 28 | 70.8  | 0.4590 | 0.4385 | 0.4401 | 0.0206 |
| 29 | 75.0  | 0.4754 | 0.5023 | 0.5032 | 0.0269 |
| 30 | 76.0  | 0.4918 | 0.5167 | 0.5174 | 0.0249 |
| 31 | 76.5  | 0.5082 | 0.5238 | 0.5244 | 0.0156 |
| 32 | 78.8  | 0.5246 | 0.5553 | 0.5555 | 0.0307 |
| 33 | 80.0  | 0.5410 | 0.5711 | 0.5710 | 0.0301 |
| 34 | 81.0  | 0.5574 | 0.5838 | 0.5836 | 0.0265 |
| 35 | 82.0  | 0.5738 | 0.5963 | 0.5959 | 0.0225 |
| 36 | 83.5  | 0.5902 | 0.6143 | 0.6137 | 0.0241 |
| 37 | 84.0  | 0.6066 | 0.6201 | 0.6194 | 0.0136 |
| 38 | 85.0  | 0.6230 | 0.6316 | 0.6307 | 0.0086 |
| 39 | 86.0  | 0.6393 | 0.6427 | 0.6417 | 0.0033 |
| 40 | 88.0  | 0.6557 | 0.6640 | 0.6628 | 0.0083 |
| 41 | 88.5  | 0.6721 | 0.6691 | 0.6679 | 0.0030 |
| 42 | 89.5  | 0.6885 | 0.6792 | 0.6778 | 0.0093 |
| 43 | 92.6  | 0.7049 | 0.7085 | 0.7068 | 0.0035 |
| 44 | 93.0  | 0.7213 | 0.7120 | 0.7103 | 0.0093 |
| 45 | 96.0  | 0.7377 | 0.7375 | 0.7355 | 0.0002 |
| 46 | 98.3  | 0.7541 | 0.7555 | 0.7534 | 0.0014 |
| 47 | 103.5 | 0.7705 | 0.7916 | 0.7892 | 0.0211 |
| 48 | 109.7 | 0.7869 | 0.8274 | 0.8249 | 0.0405 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 49 | 112.5 | 0.8033 | 0.8414 | 0.8388 | 0.0381 |
| 50 | 113.5 | 0.8197 | 0.8461 | 0.8435 | 0.0264 |
| 51 | 114.5 | 0.8361 | 0.8506 | 0.8480 | 0.0145 |
| 52 | 117.5 | 0.8525 | 0.8634 | 0.8608 | 0.0109 |
| 53 | 120.0 | 0.8689 | 0.8731 | 0.8705 | 0.0042 |
| 54 | 120.0 | 0.8852 | 0.8731 | 0.8705 | 0.0122 |
| 55 | 129.0 | 0.9016 | 0.9023 | 0.8998 | 0.0006 |
| 56 | 134.0 | 0.9180 | 0.9152 | 0.9129 | 0.0028 |
| 57 | 140.0 | 0.9344 | 0.9283 | 0.9261 | 0.0062 |
| 58 | 152.2 | 0.9508 | 0.9484 | 0.9465 | 0.0024 |
| 59 | 172.5 | 0.9672 | 0.9693 | 0.9678 | 0.0021 |
| 60 | 258.0 | 0.9836 | 0.9951 | 0.9947 | 0.0115 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.05315, es menor que el delta tabular 0.1756. Los datos se ajustan a la distribución Log-Pearson tipo 3, con un nivel de significación del 5%

Los 3 parámetros de la distribución Log-Pearson tipo 3:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización ( $X_0$ )= 3.2474

Parámetro de forma ( $\gamma$ )= 8.8489

Parámetro de escala ( $\beta$ )= 0.1254

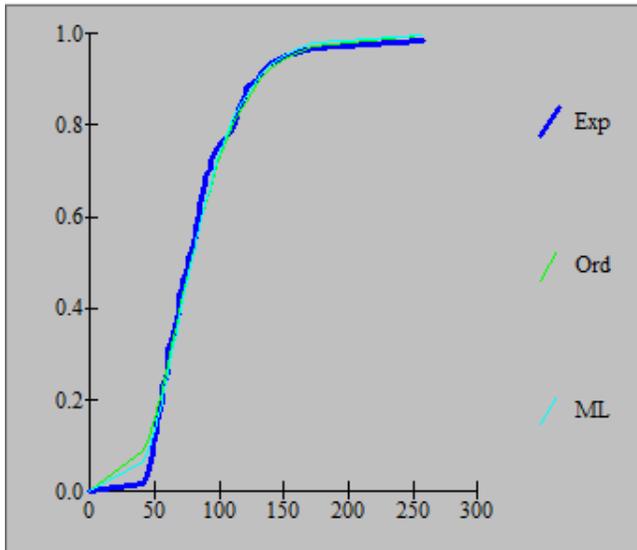
Con momentos lineales:

Parámetro de localización ( $X_{0l}$ )= 3.2395

Parámetro de forma ( $\gamma_{ml}$ )= 8.7408

Parámetro de escala ( $\beta_{ml}$ )= 0.1278

## GUMBEL



Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | G(Y)Ordinario | G(Y)MomLineal | Delta  |
|----|------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 42.0 | 0.0164 | 0.0888        | 0.0670        | 0.0724 |
| 2  | 44.5 | 0.0328 | 0.1087        | 0.0853        | 0.0759 |
| 3  | 45.5 | 0.0492 | 0.1172        | 0.0933        | 0.0681 |
| 4  | 47.0 | 0.0656 | 0.1307        | 0.1062        | 0.0652 |
| 5  | 48.6 | 0.0820 | 0.1459        | 0.1210        | 0.0640 |
| 6  | 48.8 | 0.0984 | 0.1479        | 0.1229        | 0.0495 |
| 7  | 49.5 | 0.1148 | 0.1549        | 0.1298        | 0.0401 |
| 8  | 51.3 | 0.1311 | 0.1734        | 0.1482        | 0.0423 |
| 9  | 51.7 | 0.1475 | 0.1777        | 0.1525        | 0.0301 |
| 10 | 53.0 | 0.1639 | 0.1918        | 0.1667        | 0.0278 |
| 11 | 53.7 | 0.1803 | 0.1995        | 0.1746        | 0.0192 |
| 12 | 55.5 | 0.1967 | 0.2200        | 0.1956        | 0.0233 |
| 13 | 56.0 | 0.2131 | 0.2259        | 0.2016        | 0.0127 |
| 14 | 56.3 | 0.2295 | 0.2294        | 0.2053        | 0.0001 |
| 15 | 58.7 | 0.2459 | 0.2581        | 0.2352        | 0.0122 |
| 16 | 60.0 | 0.2623 | 0.2740        | 0.2519        | 0.0117 |
| 17 | 60.0 | 0.2787 | 0.2740        | 0.2519        | 0.0047 |
| 18 | 60.0 | 0.2951 | 0.2740        | 0.2519        | 0.0211 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 19 | 60.1  | 0.3115 | 0.2752 | 0.2532 | 0.0362 |
| 20 | 63.6  | 0.3279 | 0.3191 | 0.2997 | 0.0088 |
| 21 | 64.8  | 0.3443 | 0.3344 | 0.3159 | 0.0099 |
| 22 | 66.0  | 0.3607 | 0.3497 | 0.3323 | 0.0110 |
| 23 | 66.8  | 0.3770 | 0.3599 | 0.3433 | 0.0172 |
| 24 | 68.0  | 0.3934 | 0.3752 | 0.3598 | 0.0182 |
| 25 | 68.4  | 0.4098 | 0.3804 | 0.3653 | 0.0295 |
| 26 | 69.3  | 0.4262 | 0.3919 | 0.3777 | 0.0344 |
| 27 | 70.8  | 0.4426 | 0.4110 | 0.3983 | 0.0317 |
| 28 | 70.8  | 0.4590 | 0.4110 | 0.3983 | 0.0480 |
| 29 | 75.0  | 0.4754 | 0.4638 | 0.4553 | 0.0116 |
| 30 | 76.0  | 0.4918 | 0.4761 | 0.4686 | 0.0157 |
| 31 | 76.5  | 0.5082 | 0.4822 | 0.4753 | 0.0260 |
| 32 | 78.8  | 0.5246 | 0.5100 | 0.5053 | 0.0145 |
| 33 | 80.0  | 0.5410 | 0.5243 | 0.5207 | 0.0167 |
| 34 | 81.0  | 0.5574 | 0.5360 | 0.5333 | 0.0214 |
| 35 | 82.0  | 0.5738 | 0.5475 | 0.5458 | 0.0263 |
| 36 | 83.5  | 0.5902 | 0.5645 | 0.5641 | 0.0256 |
| 37 | 84.0  | 0.6066 | 0.5701 | 0.5701 | 0.0364 |
| 38 | 85.0  | 0.6230 | 0.5812 | 0.5820 | 0.0418 |
| 39 | 86.0  | 0.6393 | 0.5921 | 0.5937 | 0.0473 |
| 40 | 88.0  | 0.6557 | 0.6133 | 0.6164 | 0.0424 |
| 41 | 88.5  | 0.6721 | 0.6185 | 0.6220 | 0.0536 |
| 42 | 89.5  | 0.6885 | 0.6287 | 0.6329 | 0.0598 |
| 43 | 92.6  | 0.7049 | 0.6593 | 0.6654 | 0.0457 |
| 44 | 93.0  | 0.7213 | 0.6631 | 0.6694 | 0.0582 |
| 45 | 96.0  | 0.7377 | 0.6906 | 0.6986 | 0.0471 |
| 46 | 98.3  | 0.7541 | 0.7106 | 0.7195 | 0.0435 |
| 47 | 103.5 | 0.7705 | 0.7519 | 0.7626 | 0.0186 |
| 48 | 109.7 | 0.7869 | 0.7946 | 0.8066 | 0.0078 |
| 49 | 112.5 | 0.8033 | 0.8118 | 0.8240 | 0.0085 |
| 50 | 113.5 | 0.8197 | 0.8176 | 0.8299 | 0.0021 |
| 51 | 114.5 | 0.8361 | 0.8232 | 0.8356 | 0.0128 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 52 | 117.5 | 0.8525 | 0.8392 | 0.8517 | 0.0132 |
| 53 | 120.0 | 0.8689 | 0.8516 | 0.8640 | 0.0173 |
| 54 | 120.0 | 0.8852 | 0.8516 | 0.8640 | 0.0337 |
| 55 | 129.0 | 0.9016 | 0.8892 | 0.9009 | 0.0125 |
| 56 | 134.0 | 0.9180 | 0.9060 | 0.9170 | 0.0120 |
| 57 | 140.0 | 0.9344 | 0.9230 | 0.9331 | 0.0114 |
| 58 | 152.2 | 0.9508 | 0.9489 | 0.9571 | 0.0019 |
| 59 | 172.5 | 0.9672 | 0.9745 | 0.9797 | 0.0072 |
| 60 | 258.0 | 0.9836 | 0.9987 | 0.9992 | 0.0151 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0759, es menor que el delta tabular 0.1756. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 67.4243

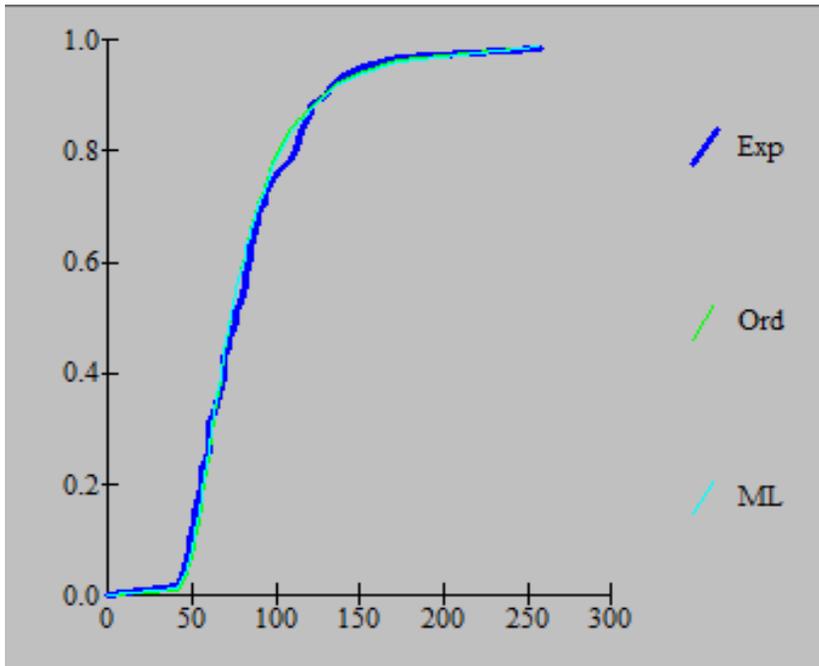
Parámetro de escala (alfa)= 28.7541

Con momentos lineales:

Parámetro de posición ( $\mu_l$ )= 68.5888

Parámetro de escala (alfal)= 26.7368

## LOGGUMBEL



Ajuste de una serie de datos a la distribución logGumbel o distribución de Fréchet

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | G(Y)Ordinario | G(Y)MomLineal | Delta  |
|----|------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 42.0 | 0.0164 | 0.0089        | 0.0132        | 0.0075 |
| 2  | 44.5 | 0.0328 | 0.0209        | 0.0280        | 0.0119 |
| 3  | 45.5 | 0.0492 | 0.0277        | 0.0361        | 0.0214 |
| 4  | 47.0 | 0.0656 | 0.0405        | 0.0505        | 0.0251 |
| 5  | 48.6 | 0.0820 | 0.0574        | 0.0690        | 0.0246 |
| 6  | 48.8 | 0.0984 | 0.0597        | 0.0716        | 0.0386 |
| 7  | 49.5 | 0.1148 | 0.0683        | 0.0808        | 0.0464 |
| 8  | 51.3 | 0.1311 | 0.0932        | 0.1068        | 0.0380 |
| 9  | 51.7 | 0.1475 | 0.0992        | 0.1130        | 0.0483 |
| 10 | 53.0 | 0.1639 | 0.1199        | 0.1342        | 0.0441 |
| 11 | 53.7 | 0.1803 | 0.1316        | 0.1461        | 0.0487 |
| 12 | 55.5 | 0.1967 | 0.1636        | 0.1781        | 0.0331 |
| 13 | 56.0 | 0.2131 | 0.1728        | 0.1873        | 0.0403 |
| 14 | 56.3 | 0.2295 | 0.1784        | 0.1928        | 0.0511 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 15 | 58.7  | 0.2459 | 0.2247 | 0.2383 | 0.0212 |
| 16 | 60.0  | 0.2623 | 0.2504 | 0.2633 | 0.0119 |
| 17 | 60.0  | 0.2787 | 0.2504 | 0.2633 | 0.0283 |
| 18 | 60.0  | 0.2951 | 0.2504 | 0.2633 | 0.0447 |
| 19 | 60.1  | 0.3115 | 0.2524 | 0.2653 | 0.0591 |
| 20 | 63.6  | 0.3279 | 0.3220 | 0.3325 | 0.0059 |
| 21 | 64.8  | 0.3443 | 0.3455 | 0.3551 | 0.0012 |
| 22 | 66.0  | 0.3607 | 0.3687 | 0.3774 | 0.0081 |
| 23 | 66.8  | 0.3770 | 0.3839 | 0.3920 | 0.0069 |
| 24 | 68.0  | 0.3934 | 0.4064 | 0.4135 | 0.0130 |
| 25 | 68.4  | 0.4098 | 0.4138 | 0.4206 | 0.0039 |
| 26 | 69.3  | 0.4262 | 0.4301 | 0.4362 | 0.0039 |
| 27 | 70.8  | 0.4426 | 0.4567 | 0.4616 | 0.0141 |
| 28 | 70.8  | 0.4590 | 0.4567 | 0.4616 | 0.0023 |
| 29 | 75.0  | 0.4754 | 0.5258 | 0.5277 | 0.0504 |
| 30 | 76.0  | 0.4918 | 0.5411 | 0.5423 | 0.0493 |
| 31 | 76.5  | 0.5082 | 0.5485 | 0.5494 | 0.0403 |
| 32 | 78.8  | 0.5246 | 0.5814 | 0.5809 | 0.0568 |
| 33 | 80.0  | 0.5410 | 0.5976 | 0.5965 | 0.0566 |
| 34 | 81.0  | 0.5574 | 0.6106 | 0.6090 | 0.0532 |
| 35 | 82.0  | 0.5738 | 0.6231 | 0.6211 | 0.0494 |
| 36 | 83.5  | 0.5902 | 0.6412 | 0.6385 | 0.0510 |
| 37 | 84.0  | 0.6066 | 0.6470 | 0.6441 | 0.0405 |
| 38 | 85.0  | 0.6230 | 0.6584 | 0.6550 | 0.0354 |
| 39 | 86.0  | 0.6393 | 0.6693 | 0.6656 | 0.0299 |
| 40 | 88.0  | 0.6557 | 0.6900 | 0.6857 | 0.0343 |
| 41 | 88.5  | 0.6721 | 0.6950 | 0.6905 | 0.0229 |
| 42 | 89.5  | 0.6885 | 0.7046 | 0.6998 | 0.0161 |
| 43 | 92.6  | 0.7049 | 0.7324 | 0.7269 | 0.0275 |
| 44 | 93.0  | 0.7213 | 0.7358 | 0.7301 | 0.0145 |
| 45 | 96.0  | 0.7377 | 0.7595 | 0.7533 | 0.0218 |
| 46 | 98.3  | 0.7541 | 0.7760 | 0.7695 | 0.0219 |
| 47 | 103.5 | 0.7705 | 0.8087 | 0.8017 | 0.0382 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 48 | 109.7 | 0.7869 | 0.8404 | 0.8332 | 0.0535 |
| 49 | 112.5 | 0.8033 | 0.8526 | 0.8454 | 0.0493 |
| 50 | 113.5 | 0.8197 | 0.8567 | 0.8495 | 0.0370 |
| 51 | 114.5 | 0.8361 | 0.8607 | 0.8535 | 0.0246 |
| 52 | 117.5 | 0.8525 | 0.8717 | 0.8646 | 0.0193 |
| 53 | 120.0 | 0.8689 | 0.8801 | 0.8731 | 0.0113 |
| 54 | 120.0 | 0.8852 | 0.8801 | 0.8731 | 0.0051 |
| 55 | 129.0 | 0.9016 | 0.9052 | 0.8986 | 0.0036 |
| 56 | 134.0 | 0.9180 | 0.9163 | 0.9100 | 0.0017 |
| 57 | 140.0 | 0.9344 | 0.9276 | 0.9216 | 0.0068 |
| 58 | 152.2 | 0.9508 | 0.9452 | 0.9399 | 0.0056 |
| 59 | 172.5 | 0.9672 | 0.9640 | 0.9598 | 0.0032 |
| 60 | 258.0 | 0.9836 | 0.9909 | 0.9892 | 0.0073 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0591, es menor que el delta tabular 0.1756. Los datos se ajustan a la distribución logGumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución logGumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 4.189

Parámetro de escala (alfa)= 0.2908

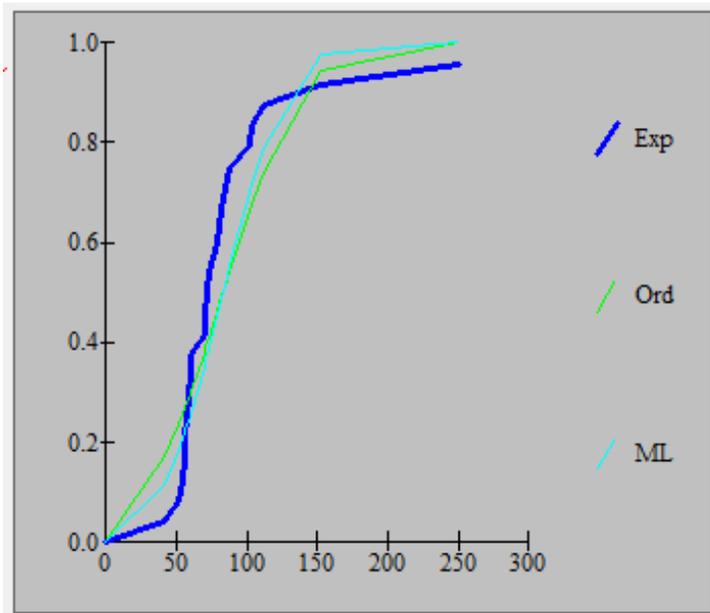
Con momentos lineales:

Parámetro de posición ( $\mu_l$ )= 4.1818

Parámetro de escala (alfal)= 0.3033

**Estación de la Universidad Autónoma de Sinaloa**

## NORMAL



Ajuste de una serie de datos a la distribución normal

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | F(Z)Ordinario | F(Z)MomLineal | Delta  |
|----|------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 41.2 | 0.0417 | 0.1707        | 0.1166        | 0.1291 |
| 2  | 51.6 | 0.0833 | 0.2375        | 0.1853        | 0.1541 |
| 3  | 54.5 | 0.1250 | 0.2583        | 0.2082        | 0.1333 |
| 4  | 55.4 | 0.1667 | 0.2650        | 0.2156        | 0.0984 |
| 5  | 56.0 | 0.2083 | 0.2695        | 0.2207        | 0.0612 |
| 6  | 57.8 | 0.2500 | 0.2832        | 0.2362        | 0.0332 |
| 7  | 58.2 | 0.2917 | 0.2863        | 0.2398        | 0.0054 |
| 8  | 59.5 | 0.3333 | 0.2965        | 0.2514        | 0.0369 |
| 9  | 60.2 | 0.3750 | 0.3020        | 0.2578        | 0.0730 |
| 10 | 69.6 | 0.4167 | 0.3803        | 0.3513        | 0.0363 |
| 11 | 69.9 | 0.4583 | 0.3830        | 0.3545        | 0.0754 |
| 12 | 71.0 | 0.5000 | 0.3925        | 0.3663        | 0.1075 |
| 13 | 72.9 | 0.5417 | 0.4093        | 0.3869        | 0.1324 |
| 14 | 77.4 | 0.5833 | 0.4495        | 0.4368        | 0.1338 |
| 15 | 80.3 | 0.6250 | 0.4757        | 0.4696        | 0.1493 |
| 16 | 82.1 | 0.6667 | 0.4921        | 0.4901        | 0.1746 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 17 | 84.3  | 0.7083 | 0.5120 | 0.5151 | 0.1963 |
| 18 | 87.7  | 0.7500 | 0.5429 | 0.5537 | 0.2071 |
| 19 | 101.4 | 0.7917 | 0.6626 | 0.7005 | 0.1290 |
| 20 | 103.0 | 0.8333 | 0.6758 | 0.7162 | 0.1575 |
| 21 | 111.3 | 0.8750 | 0.7406 | 0.7906 | 0.1344 |
| 22 | 152.8 | 0.9167 | 0.9441 | 0.9769 | 0.0274 |
| 23 | 250.3 | 0.9583 | 0.9999 | 1.0000 | 0.0416 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.2071, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución normal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización ( $X_m$ )= 82.9739

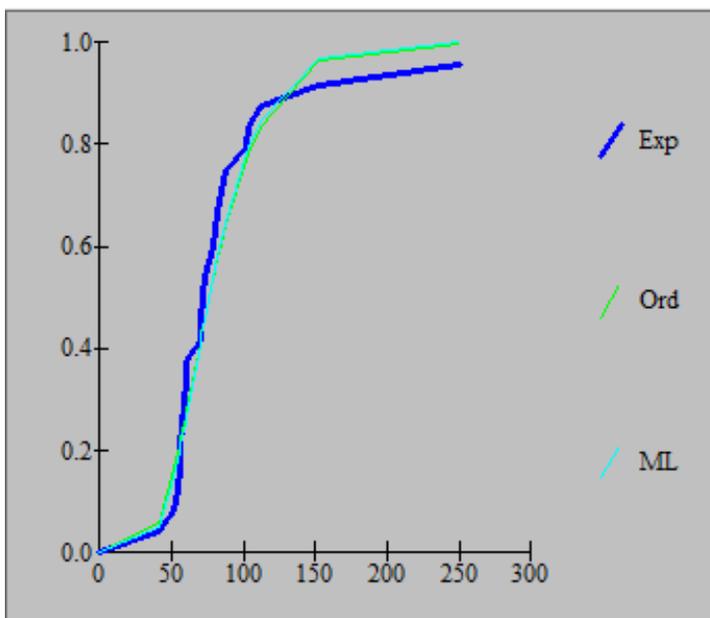
Parámetro de escala (S)= 43.9108

Con momentos lineales:

Media lineal ( $X_l$ )= 82.9739

Desviación estándar lineal (S<sub>l</sub>)= 35.0364

## LOGNORMAL2



## Ajuste de una serie de datos a la distribución lognormal de 2 parámetros

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X     | P(X)   | F(Z)Ordinario | F(Z)MomLineal | Delta  |
|----|-------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 41.2  | 0.0417 | 0.0590        | 0.0495        | 0.0174 |
| 2  | 51.6  | 0.0833 | 0.1614        | 0.1483        | 0.0781 |
| 3  | 54.5  | 0.1250 | 0.1979        | 0.1850        | 0.0729 |
| 4  | 55.4  | 0.1667 | 0.2097        | 0.1970        | 0.0430 |
| 5  | 56.0  | 0.2083 | 0.2177        | 0.2052        | 0.0094 |
| 6  | 57.8  | 0.2500 | 0.2422        | 0.2302        | 0.0078 |
| 7  | 58.2  | 0.2917 | 0.2477        | 0.2359        | 0.0439 |
| 8  | 59.5  | 0.3333 | 0.2659        | 0.2546        | 0.0675 |
| 9  | 60.2  | 0.3750 | 0.2758        | 0.2648        | 0.0992 |
| 10 | 69.6  | 0.4167 | 0.4109        | 0.4060        | 0.0058 |
| 11 | 69.9  | 0.4583 | 0.4151        | 0.4105        | 0.0432 |
| 12 | 71.0  | 0.5000 | 0.4307        | 0.4269        | 0.0693 |
| 13 | 72.9  | 0.5417 | 0.4573        | 0.4550        | 0.0843 |
| 14 | 77.4  | 0.5833 | 0.5182        | 0.5192        | 0.0651 |
| 15 | 80.3  | 0.6250 | 0.5555        | 0.5585        | 0.0695 |
| 16 | 82.1  | 0.6667 | 0.5777        | 0.5820        | 0.0889 |
| 17 | 84.3  | 0.7083 | 0.6039        | 0.6096        | 0.1044 |
| 18 | 87.7  | 0.7500 | 0.6422        | 0.6497        | 0.1078 |
| 19 | 101.4 | 0.7917 | 0.7687        | 0.7810        | 0.0229 |
| 20 | 103.0 | 0.8333 | 0.7807        | 0.7932        | 0.0526 |
| 21 | 111.3 | 0.8750 | 0.8346        | 0.8476        | 0.0404 |
| 22 | 152.8 | 0.9167 | 0.9625        | 0.9699        | 0.0459 |
| 23 | 250.3 | 0.9583 | 0.9988        | 0.9993        | 0.0405 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1078, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución logNormal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución logNormal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de escala ( $\mu$ )= 4.3311

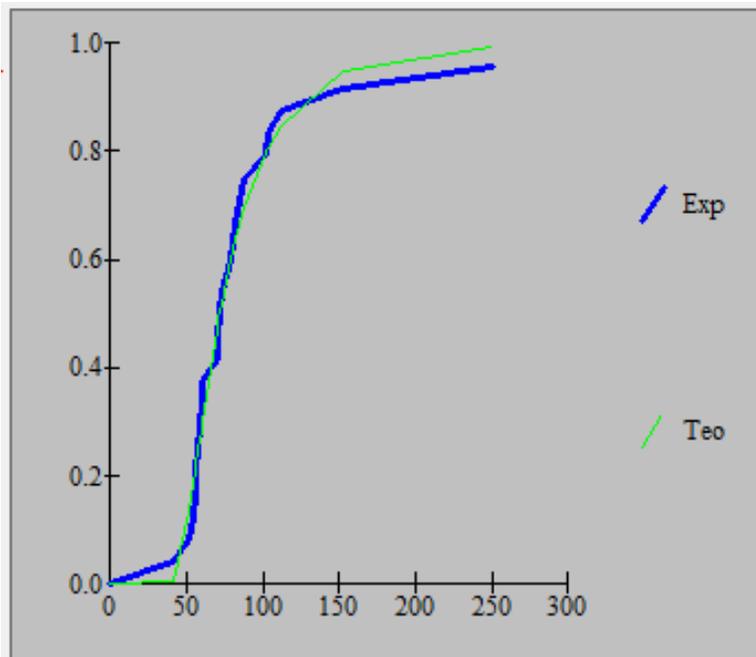
Parámetro de forma (Sy)= 0.392

Con momentos lineales:

Parámetro de escala ( $\mu_{yl}$ )= 4.3311

Parámetro de forma (Syl)= 0.3714

### LOGNORMAL3



Ajuste de una serie de datos a la distribución lognormal de 3 parámetros

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | Z       | F(Z)   | Delta  |
|----|------|--------|---------|--------|--------|
| 1  | 41.2 | 0.0417 | -2.5148 | 0.0060 | 0.0357 |
| 2  | 51.6 | 0.0833 | -1.1095 | 0.1336 | 0.0503 |
| 3  | 54.5 | 0.1250 | -0.8826 | 0.1887 | 0.0637 |
| 4  | 55.4 | 0.1667 | -0.8192 | 0.2063 | 0.0397 |
| 5  | 56.0 | 0.2083 | -0.7784 | 0.2182 | 0.0098 |
| 6  | 57.8 | 0.2500 | -0.6628 | 0.2537 | 0.0037 |
| 7  | 58.2 | 0.2917 | -0.6384 | 0.2616 | 0.0301 |
| 8  | 59.5 | 0.3333 | -0.5618 | 0.2871 | 0.0462 |
| 9  | 60.2 | 0.3750 | -0.5223 | 0.3007 | 0.0743 |
| 10 | 69.6 | 0.4167 | -0.0781 | 0.4689 | 0.0522 |

|    |       |        |         |        |        |
|----|-------|--------|---------|--------|--------|
| 11 | 69.9  | 0.4583 | -0.0661 | 0.4737 | 0.0153 |
| 12 | 71.0  | 0.5000 | -0.0226 | 0.4910 | 0.0090 |
| 13 | 72.9  | 0.5417 | 0.0493  | 0.5197 | 0.0220 |
| 14 | 77.4  | 0.5833 | 0.2061  | 0.5816 | 0.0017 |
| 15 | 80.3  | 0.6250 | 0.2985  | 0.6174 | 0.0076 |
| 16 | 82.1  | 0.6667 | 0.3530  | 0.6379 | 0.0287 |
| 17 | 84.3  | 0.7083 | 0.4167  | 0.6615 | 0.0468 |
| 18 | 87.7  | 0.7500 | 0.5098  | 0.6949 | 0.0551 |
| 19 | 101.4 | 0.7917 | 0.8321  | 0.7973 | 0.0057 |
| 20 | 103.0 | 0.8333 | 0.8653  | 0.8066 | 0.0268 |
| 21 | 111.3 | 0.8750 | 1.0258  | 0.8475 | 0.0275 |
| 22 | 152.8 | 0.9167 | 1.6306  | 0.9485 | 0.0318 |
| 23 | 250.3 | 0.9583 | 2.4695  | 0.9932 | 0.0349 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0743, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución logNormal 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%

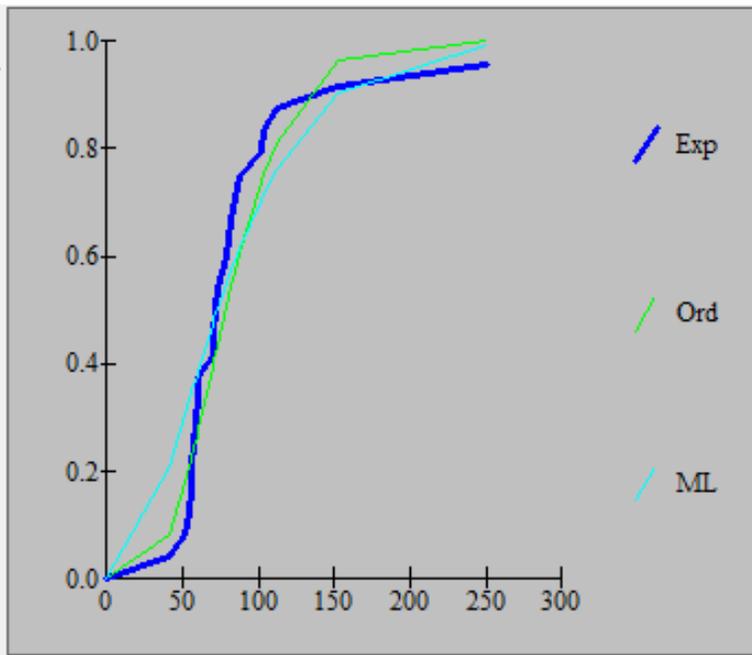
Parámetros de la distribución lognormal:

Parámetro de posición ( $x_0$ )= 35.2599

Parámetro de escala ( $\mu y$ )= 3.5926

Parámetro de forma ( $Sy$ )= 0.7201

## GAMMA2



Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 2 parámetros

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | G(Y)Ordinario | G(Y)MomLineal | Delta  |
|----|------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 41.2 | 0.0417 | 0.0844        | 0.2087        | 0.0428 |
| 2  | 51.6 | 0.0833 | 0.1776        | 0.3058        | 0.0943 |
| 3  | 54.5 | 0.1250 | 0.2089        | 0.3332        | 0.0839 |
| 4  | 55.4 | 0.1667 | 0.2190        | 0.3417        | 0.0523 |
| 5  | 56.0 | 0.2083 | 0.2258        | 0.3473        | 0.0175 |
| 6  | 57.8 | 0.2500 | 0.2466        | 0.3642        | 0.0034 |
| 7  | 58.2 | 0.2917 | 0.2513        | 0.3680        | 0.0403 |
| 8  | 59.5 | 0.3333 | 0.2668        | 0.3801        | 0.0665 |
| 9  | 60.2 | 0.3750 | 0.2752        | 0.3866        | 0.0998 |
| 10 | 69.6 | 0.4167 | 0.3920        | 0.4716        | 0.0247 |
| 11 | 69.9 | 0.4583 | 0.3958        | 0.4742        | 0.0626 |
| 12 | 71.0 | 0.5000 | 0.4096        | 0.4837        | 0.0904 |
| 13 | 72.9 | 0.5417 | 0.4334        | 0.5000        | 0.1083 |
| 14 | 77.4 | 0.5833 | 0.4889        | 0.5374        | 0.0945 |
| 15 | 80.3 | 0.6250 | 0.5237        | 0.5606        | 0.1013 |
| 16 | 82.1 | 0.6667 | 0.5448        | 0.5746        | 0.1219 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 17 | 84.3  | 0.7083 | 0.5700 | 0.5913 | 0.1383 |
| 18 | 87.7  | 0.7500 | 0.6075 | 0.6163 | 0.1425 |
| 19 | 101.4 | 0.7917 | 0.7385 | 0.7058 | 0.0532 |
| 20 | 103.0 | 0.8333 | 0.7515 | 0.7152 | 0.0818 |
| 21 | 111.3 | 0.8750 | 0.8115 | 0.7597 | 0.0635 |
| 22 | 152.8 | 0.9167 | 0.9623 | 0.9042 | 0.0456 |
| 23 | 250.3 | 0.9583 | 0.9997 | 0.9917 | 0.0413 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1425, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Los 2 parámetros de la distribución Gamma:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de forma (gamma)= 5.8795

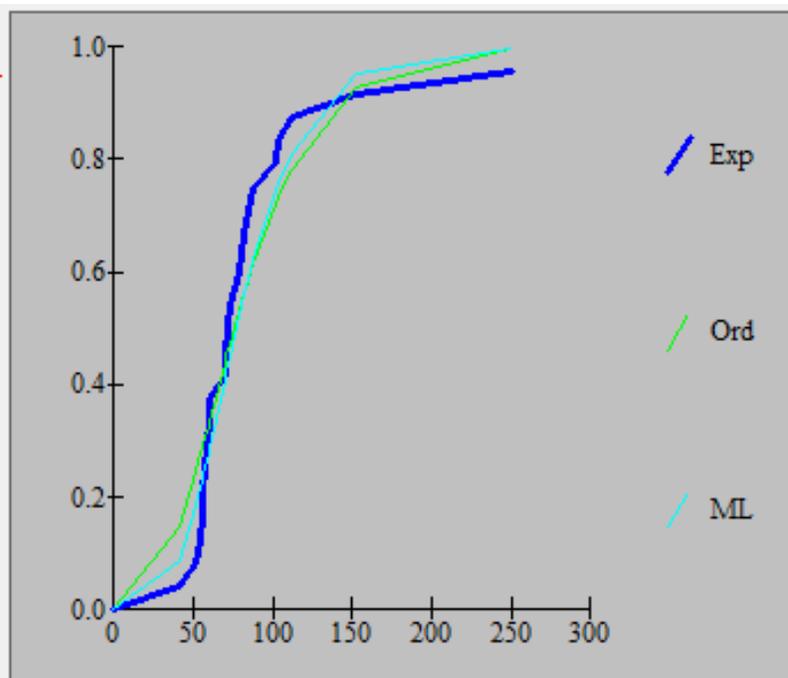
Parámetro de escala (beta)= 14.1125

Con momentos lineales:

Parámetro de forma (gammal)= 2.6761

Parámetro de escala (betal)= 31.0059

GUMBEL



## Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X     | P(X)   | G(Y)Ordinario | G(Y)MomLineal | Delta  |
|----|-------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 41.2  | 0.0417 | 0.1493        | 0.0881        | 0.1076 |
| 2  | 51.6  | 0.0833 | 0.2457        | 0.1851        | 0.1623 |
| 3  | 54.5  | 0.1250 | 0.2753        | 0.2179        | 0.1503 |
| 4  | 55.4  | 0.1667 | 0.2847        | 0.2284        | 0.1180 |
| 5  | 56.0  | 0.2083 | 0.2910        | 0.2356        | 0.0827 |
| 6  | 57.8  | 0.2500 | 0.3100        | 0.2573        | 0.0600 |
| 7  | 58.2  | 0.2917 | 0.3142        | 0.2623        | 0.0226 |
| 8  | 59.5  | 0.3333 | 0.3281        | 0.2784        | 0.0053 |
| 9  | 60.2  | 0.3750 | 0.3356        | 0.2871        | 0.0394 |
| 10 | 69.6  | 0.4167 | 0.4361        | 0.4076        | 0.0195 |
| 11 | 69.9  | 0.4583 | 0.4393        | 0.4115        | 0.0190 |
| 12 | 71.0  | 0.5000 | 0.4509        | 0.4255        | 0.0491 |
| 13 | 72.9  | 0.5417 | 0.4707        | 0.4496        | 0.0710 |
| 14 | 77.4  | 0.5833 | 0.5165        | 0.5053        | 0.0669 |
| 15 | 80.3  | 0.6250 | 0.5449        | 0.5397        | 0.0801 |
| 16 | 82.1  | 0.6667 | 0.5622        | 0.5605        | 0.1045 |
| 17 | 84.3  | 0.7083 | 0.5827        | 0.5851        | 0.1257 |
| 18 | 87.7  | 0.7500 | 0.6132        | 0.6214        | 0.1368 |
| 19 | 101.4 | 0.7917 | 0.7205        | 0.7451        | 0.0711 |
| 20 | 103.0 | 0.8333 | 0.7314        | 0.7572        | 0.1019 |
| 21 | 111.3 | 0.8750 | 0.7823        | 0.8123        | 0.0927 |
| 22 | 152.8 | 0.9167 | 0.9296        | 0.9526        | 0.0129 |
| 23 | 250.3 | 0.9583 | 0.9958        | 0.9984        | 0.0374 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1623, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 63.2117

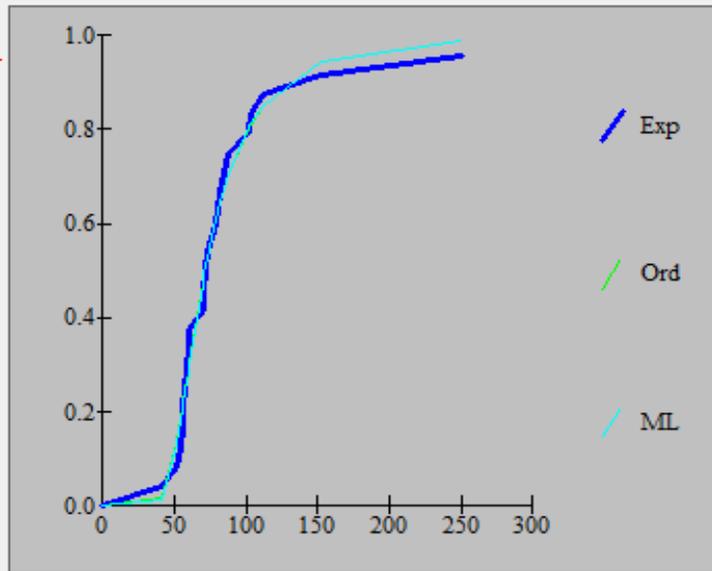
Parámetro de escala (alfa)= 34.2371

Con momentos lineales:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 66.5129

Parámetro de escala (alfa)= 28.518

LOGGUMBEL



Ajuste de una serie de datos a la distribución logGumbel o distribución de Fréchet

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

| m  | X    | P(X)   | G(Y)Ordinario | G(Y)MomLineal | Delta  |
|----|------|--------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 41.2 | 0.0417 | 0.0155        | 0.0141        | 0.0262 |
| 2  | 51.6 | 0.0833 | 0.1359        | 0.1321        | 0.0526 |
| 3  | 54.5 | 0.1250 | 0.1885        | 0.1847        | 0.0635 |
| 4  | 55.4 | 0.1667 | 0.2057        | 0.2019        | 0.0390 |
| 5  | 56.0 | 0.2083 | 0.2172        | 0.2136        | 0.0089 |
| 6  | 57.8 | 0.2500 | 0.2524        | 0.2490        | 0.0024 |
| 7  | 58.2 | 0.2917 | 0.2603        | 0.2569        | 0.0314 |
| 8  | 59.5 | 0.3333 | 0.2859        | 0.2827        | 0.0474 |
| 9  | 60.2 | 0.3750 | 0.2997        | 0.2966        | 0.0753 |
| 10 | 69.6 | 0.4167 | 0.4726        | 0.4714        | 0.0559 |
| 11 | 69.9 | 0.4583 | 0.4775        | 0.4765        | 0.0192 |
| 12 | 71.0 | 0.5000 | 0.4954        | 0.4946        | 0.0046 |
| 13 | 72.9 | 0.5417 | 0.5251        | 0.5246        | 0.0166 |

|    |       |        |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 14 | 77.4  | 0.5833 | 0.5889 | 0.5891 | 0.0056 |
| 15 | 80.3  | 0.6250 | 0.6253 | 0.6259 | 0.0003 |
| 16 | 82.1  | 0.6667 | 0.6462 | 0.6470 | 0.0205 |
| 17 | 84.3  | 0.7083 | 0.6700 | 0.6710 | 0.0383 |
| 18 | 87.7  | 0.7500 | 0.7034 | 0.7047 | 0.0466 |
| 19 | 101.4 | 0.7917 | 0.8035 | 0.8053 | 0.0118 |
| 20 | 103.0 | 0.8333 | 0.8123 | 0.8142 | 0.0210 |
| 21 | 111.3 | 0.8750 | 0.8510 | 0.8529 | 0.0240 |
| 22 | 152.8 | 0.9167 | 0.9444 | 0.9458 | 0.0277 |
| 23 | 250.3 | 0.9583 | 0.9887 | 0.9892 | 0.0304 |

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0753, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución logGumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución logGumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 4.1547

Parámetro de escala (alfa)= 0.3056

Con momentos lineales:

Parámetro de posición ( $\mu_l$ )= 4.1566

Parámetro de escala (alfal)= 0.3023

## Referencias.

1. CARIBE, O.D.L.N.U.P.L.A.Y.L.A.O.R.D.L.F.P.A.L.Y.E., *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile, abril de 2013.
2. Angrill, S., et al., *Urban rainwater runoff quantity and quality - A potential endogenous resource in cities?* J Environ Manage, 2017. **189**: p. 14-21.
3. Agua, C.N.d., *Semblanza Histórica del Agua en México*. Noviembre de 2009: p. 79.
4. Suárez, J., M. García, and R. Mosquera, *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. VI SEREA-Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Água João Pessoa (Brasil), 2006. **5**.
5. <fuentes roldan Antonio-Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles..pdf>.
6. Aranda, D.F.C., *Introducción a la Hidrología Urbana*. 2010. p. 307.
7. Adler, I., G. Carmona, and J.A. Bojalil, *Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*. México DF, México.: International Renewable Resources Institute Mexico, 2008.
8. Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A. and A. Presencia Mexicana Ciudadana Mexicana, *Agua en México: lo que todos y todas debemos saber*, in *Agua en México: lo que todos y todas debemos saber*. 2006, Fondo Educación Ambiental.
9. Baron, J.S., et al., *Ecosistemas de agua dulce sustentables (Sustaining healthy freshwater ecosystems)*. Tópicos en Ecología, 2003. **10**: p. 1-15.
10. IS Rodríguez, J.R.-S., <IS Rodríguez, JP Ramírez-Silva - 2010-Los parques como elementos de sustentabilidad de las ciudades.pdf>. 2010.
11. Villarreal, D.F.J.G., *Sistemas de Captación de Agua de Lluvia*. Impluvium-Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM, Abril - Junio 2014. **Número 1**.
12. FEA, C. and P.C. Mexicana, *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. México, Centro Mexicano de Derecho Ambiental-Fondo Educación Ambiental-The Tinker Foundation-Presencia Ciudadana Mexicana-National Wildlife Federation, disponible en, 2006.
13. URBANISMO, M.D.V.Y., *Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos*. Guía de Diseño. Santiago, noviembre de 1996. **Capítulo 2**: p. 15.
14. Mijares, F.J.A., <Fundamentos\_de\_hidrologia\_de\_superficie\_-\_Aparicio.pdf>. 1992.
15. Chow, V.T., D.R. Maidment, and L.W. Mays, *Hidrología aplicada*. 1994: McGraw-Hill.
16. Coche, A.G. and J.F. Muir, *Construcción de estanques para la piscicultura en agua dulce: estructuras y trazados para explotaciones piscícolas*. Vol. 20. 1993: Food & Agriculture Org.
17. <PROGRAMA DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN DE LA SEQUIA 2014-PMPMS\_Culiac\_n\_Sin.pdf>.