ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE

INFORME FINAL

Julio 14 de 2025

Barranquilla, Colombia

Elaborado por:	Consorcio SISCO & HYCEN
Versión para revisión:	
Versión final:	Julio 14 de 2025

Contenido

1 Introducción 1
2 Área de estudio 3
3 Revisión y cualificación de información secundaria 6
4 Trabajos de Campo 7
4.1 Levantamiento topobatimétrico de la ciénaga del Totumo 7
4.2 Estudio topográfico 9
4.2.1 Metodología de los levantamientos 9
4.2.2 Sistema de proyección geográfica 11
4.2.3 Equipos empleados en el levantamiento topográfico 13
4.2.4 Punto de control para la georreferenciación 13
4.2.5 Ejecución del levantamiento topográfico 18
4.3 Vuelos de Dron 19
4.3.1 Metodología del levantamiento 19
4.3.2 Planificación de los trabajos y definición de las líneas de levantamiento 19
4.4 Estudio batimétrico 21
4.4.1 Metodología 21
4.4.2 Equipos utilizados en el levantamiento batimétrico 22
4.4.3 Ejecución del levantamiento batimétrico 23
4.5 Toma de muestras de sedimentos del lecho de la ciénaga 24
4.5.1 Metodología 24
4.5.2 Resultados de clasificación de muestras recopiladas 25
4.6 Apiques en la cuenca 26
4.6.1 Metodología 27
4.6.2 Resultados de clasificación de muestras recopiladas 27
4.7 Toma de muestras de sólidos suspendidos en la ciénaga 30
4.7.1 Metodología 30

4.7.2 Resultados de clasificación de muestras recopiladas 31
4.8 Monitoreo de niveles 32
4.8.1 Registro de niveles obtenido 34
5 Hidrología 37
5.1 Precipitación 37
5.2 Modelo lluvia-escorrentía 38
5.2.1 Trazado de cuencas hidrográfica 38
5.2.2 Sistemas lénticos y lóticos 42
5.2.3 Caracterización morfométrica 44
5.3 Método del NRCS (Natural Resources Conservation Service) 45
5.3.1 Tiempo de Concentración 46
5.3.2 Información de precipitación 50
5.3.3 Tormenta de diseño 56
5.3.4 Estimación del número de curva CN 58
5.4 Modelo en HEC-HMS 61
5.4.1 Calibración Hidrológica 64
5.4.2 Resultados Modelo Hidrológico 67
5.4.3 Precipitación ponderada en la Cuenca 69
5.4.4 Escenarios hidrológicos 70
5.5 Modelo continuo HEC-HMS 75
5.5.1 Evaporación potencial 75
5.5.2 Caracterización pluviométrica 76
5.5.3 Método de infiltración 78
5.5.4 Resultados modelo continuo 78
6 Modelo numérico hidrodinámico 80
6.1 Características hidráulicas 81
6.2 Zonas de amortiguamiento 82

6.3 Dominio computacional 87
6.4 Modelo digital de elevación del lecho 88
6.5 Condiciones de viento 89
6.6 Validación de niveles 92
6.7 Resultados y análisis de condiciones hidrodinámicas 93
6.7.1 Modelación de compuertas 93
6.7.2 Modelación del viento 95
6.7.3 Resultados y análisis de sensibilidad de escenarios hidráulicos 96
7 Estimación de la tasa potencial de erosión de cuenca: Método de RUSLE 118
7.1 Factor de erosividad de la lluvia (R) 119
7.2 Factor de erodabilidad del suelo (K) 126
7.3 Factor topográfico (LS) 130
7.4 Factor de cobertura y manejo de la vegetación (C) 132
7.4.1 NDVI: Época Seca, Intermedia y Húmeda 132
7.4.2 NDVI - Factor C 134
7.5 Factor de prácticas de conservación (P) 138
7.6 Proporción de entrega de sedimentos (SDR) 139
7.6.1 Formulaciones basadas en correlaciones con el área de la cuenca 139
7.6.2 Formulaciones basadas en asunciones físicas 140
7.6.3 Mapas de SDR 142
7.7 Tasas anuales de erosión y de entrega de sedimento por afluentes 146
8 Análisis multitemporal de la Ciénaga del Totumo 150
8.1 Análisis de orillas 150
8.2 Análisis descriptivo de los sectores 155
9 Modelo Sedimentológico 169
9.1 Caracterización geomorfológica 170
9.2 Resultados de modelo hidrosedimentológico 171

9.2.1 Modelo hidrosedimentológico para limos 171
9.2.2 Modelo hidrosedimentológico para arenas finas 181
9.3 Análisis prospectivo del nivel del lecho de la ciénaga 185
10 Propuestas de alternativas de manejo y gestión de la cuenca y ciénaga del Totumo 196
11 Plataforma SIG para la Ciénaga del Totumo 200
11.1 Propósito y alcance 200
11.2 Principales funcionalidades 200
11.3 Enfoque técnico y arquitectura 201
11.4 Requisitos de operación 201
11.5 Manual de usuario general 202
11.5.1 Requisitos para el Usuario 202
11.5.2 Acceso a la Plataforma 203
11.5.3 Elementos Principales de Navegación 203
11.5.4 Cómo Usar la Plataforma 204
11.5.5 Preguntas Frecuentes (FAQ) 210
11.5.6 Soporte y Canales de Atención 211
11.5.7 Glosario y Recursos Adicionales 211
12 Socialización de resultados y capacitación de la Plataforma SIG de la Ciénaga del Totumo 213
12.1 Lugar, fecha y hora de la socialización y capacitación 213
12.2 Participantes 213
12.3 Desarrollo de la jornada de socialización y capacitación 214
12.4 Conclusiones de la jornada de socialización y capacitación 215
12.5 Lista de asistencia 216
12.6 Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación 219
13 Conclusiones 221
14 Referencias 224

15 Anexos 1

15.1 Hidrogramas sintéticos generados para distintos períodos de retorno 1

15.2 Resultados de laboratorio de clasificación de muestras del lecho 49

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de la red hidrográfica de la cuenca y Ciénaga del Totumo. 3
Figura 2. Sector de estudio: Ciénaga del Totumo 5
Figura 3. Trabajos de campo en la ciénaga del Totumo. 7
Figura 4. Modelo de elevación Digital para la ciénaga del Totumo. 8
Figura 5. Procedimiento de campo. 10
Figura 6. Proceso de la información. 11
Figura 7. Zonas de origen Magna Sirgas Res. 471 de 2020. 12
Figura 8. Punto de amarre geodésico (Red Pasiva IGAC) 14
Figura 9. Certificado punto IGAC 13673004 15
Figura 10. Traslado del Punto IGAC 13673004 a la zona del proyecto. 16
Figura 11. Materialización del punto SISCO REF 50- en la zona del proyecto. 17
Figura 12. Registro fotográfico de la ejecución del levantamiento topográfico. 18
Figura 13. Ejecución del levantamiento con equipo dron (UAV). 20
Figura 14. Proceso de información en oficina. 21
Figura 15. Registro fotográfico de la ejecución del levantamiento batimétrico. 23
Figura 16. Localización de muestras hidrosedimentológicas. 24
Figura 17. Cono de arrastre para toma de muestras de fondo. 25
Figura 18. Localización de apiques en la cuenca de la ciénaga del Totumo. 26
Figura 19. Cono de arrastre para toma de muestras de fondo. 27
Figura 20 Mapa de resultados de apiques en la cuenca - zona norte 28
Figura 20 Mapa de resultados de apiques en la cuenca – zona sur. 28
Figura 21. Botella de Niskin. 30
Figura 22. Muestras de sólidos en suspensión. 31
Figura 23. Ubicación y concentración de SST en la ciénaga del Totumo. 31
Figura 24. Ubicación de los sensores instalados. 33
Figura 25. Sensor de medición de presión manométrica. 33
Figura 26. Sensor de medición de presión atmosférica. 33
Figura 27. Instalación de sensor en pila central del puente del Totumo. 34
Figura 28. Instalación de sensor aguas abajo de las compuertas de la ciénaga del Totumo. 34
Figura 29. Registro de niveles del sensor en pila central del puente del Totumo en caño Amanzaguapo. 35

Figura 30. Registro de niveles del sensor aguas abajo de las compuertas de la ciénaga del Totumo. 35
Figura 31. Precipitación media mensual multianual estaciones IDEAM 38
Figura 32. Modelo digital de elevación de la cuenca de la Ciénaga del Totumo 40
Figura 33. Subcuencas hidrográficas Ciénaga del Totumo. 41
Figura 34. Curva Elevación-Almacenamiento de la ciénaga de Luruaco y Tocagua 43
Figura 35. Grafica de probabilidad para estación Hibáracho 50
Figura 36. Grafica de probabilidad para estación Repelón 51
Figura 37. Grafica de probabilidad para estación Bayunca. 51
Figura 38. Grafica de probabilidad para estación Galerazamba. 52
Figura 39. Polígonos de Thiessen para la cuenca de la Ciénaga del Totumo. 54
Figura 40. Isoyetas de precipitación anual promedio para la cuenca de la Ciénaga del Totumo. 56
Figura 41. Distribución de tormenta. 57
Figura 42. Mapa de cobertura de suelo según clasificación Corine Land Cover. 60
Figura 43. Canales Luruaco-Tocagua y Tocagua Salida. 63
Figura 44. Modelo en HEC-HMS de cuenca de la Ciénaga del Totumo. 64
Figura 45. Correlaciones entre precipitación de estaciones. 65
Figura 46. Precipitación vs Nivel en Ciénaga del Totumo. 66
Figura 47. Curva de almacenamiento Ciénaga del Totumo. 66
Figura 48. Resultados precipitación y escorrentía Subcuenca-12 68
Figura 49. Grafica de probabilidad de precipitación ponderada en toda la cuenca. 70
Figura 50. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco. 72
Figura 51. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Roberto. 73
Figura 52. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Calabrisa. 73
Figura 53. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Sabana. 74
Figura 54. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Maravillas. 74
Figura 55. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Caño Late 75
Figura 56. Variación multianual de niveles en Ciénaga del Totumo. 79
Figura 57. Zona de estudio y condiciones. 80
Figura 58. Curva HQ de Compuertas. 81
Figura 59. Perfil transversal de puente con Compuertas y Box-Culvert. 82
Figura 60. Zonas de amortiguamiento en el arroyo Ronco (izquierda) y Maravillas (derecha). 84
Figura 61. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco con zona de amortiguamiento. 84

Figura 62. Hidrogramas escenarios zona norte para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco con zona de amortiguamiento. 85
Figura 63. Hidrogramas escenarios zona media para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco con zona de amortiguamiento. 85
Figura 64. Hidrogramas escenarios zona sur para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco con zona de amortiguamiento. 86
Figura 65. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Maravillas con zona de amortiguamiento. 86
Figura 66. Hidrogramas escenarios zona norte para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Maravillas con zona de amortiguamiento. 87
Figura 67. Dominio computacional del sector de estudio 88
Figura 68. Modelo digital de elevación. 89
Figura 69. Rosa de viento Septiembre - diciembre. 90
Figura 70. Rosas de viento Enero – Abril y Mayo – Agosto. 91
Figura 71. Dirección y magnitud del viento simulada. 92
Figura 72. Serie de precipitación ponderada y nivel modelado. 93
Figura 73. Líneas de corrientes con compuertas abiertas. 94
Figura 74. Líneas de corrientes y velocidad en canal de salida con compuertas abiertas. 94
Figura 75. Distribución espacial de velocidades superficiales en la Ciénaga del Totumo bajo la acción exclusiva del viento. 95
Figura 76. Mapa de velocidades en Sector de volcán del Totumo. 96
Figura 77. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=2 años, Zona norte. 98
Figura 78. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=5 años, Zona norte. 99
Figura 79. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=10 años, Zona norte. 100
Figura 80. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=25 años, Zona norte. 101
Figura 81. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=50 años, Zona norte. 102
Figura 82. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=100 años, Zona norte. 103
Figura 83. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=2 años, Zona Media. 104

Figura 84. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=5 años, Zona Media. 105
Figura 85. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=10 años, Zona Media. 106
Figura 86. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=25 años, Zona Media. 107
Figura 87. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=50 años, Zona Media. 108
Figura 88. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=100 años, Zona Media. 109
Figura 89. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=2 años, Zona sur. 110
Figura 90. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=5 años, Zona sur. 111
Figura 91. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=10 años, Zona sur. 112
Figura 92. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=25 años, Zona sur. 113
Figura 93. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=50 años, Zona sur. 114
Figura 94. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=100 años, Zona sur. 115
Figura 95. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=2 años. 116
Figura 96. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=5 años. 117
Figura 97. Zonas definidas en estudio consultado, cuenca de la ciénaga del Totumo y valores del factor R anuales por zonas. 120
Figura 98. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo anual. 121
Figura 99. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo, meses de enero, febrero, marzo. 122
Figura 100. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo, meses de abril, mayo, junio. 123
Figura 101. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo, meses de julio, agosto, septiembre. 124
Figura 102. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo, meses de octubre, noviembre y diciembre. 125
Figura 103. Mapa de valores del factor de erodabilidad del suelo (K) para la cuenca de la ciénaga del Totumo..... 129

Figura 104. Valores para el factor LS tabulados según longitud (ft) y Pendiente (%). 130
Figura 105. Mapa de valores del factor longitud-pendiente (LS) para la ciénaga del Totumo. 131
Figura 106. NDVI Cuenca del Totumo épocas del Año. 133
Figura 107. Factor C en cuatrimestre Enero-Abril, para la ciénaga del Totumo. 135
Figura 108. Factor C en cuatrimestre Mayo-Agosto, para la ciénaga del Totumo. 136
Figura 109. Factor C en cuatrimestre Septiembre-Diciembre, para la ciénaga del Totumo..... 137
Figura 110. Relación entre el tamaño de la cuenca de drenaje y el índice de entrega de sedimentos. 139
Figura 111. Definición de componentes pendiente arriba y pendiente abajo. 141
Figura 112. Proporción de entrega de sedimentos (SDR) para el cuatrimestre enero-abril multianual. 142
Figura 113. Proporción de entrega de sedimentos (SDR) para el cuatrimestre mayo-agosto multianual. 143
Figura 114. Proporción de entrega de sedimentos (SDR) para el cuatrimestre septiembre-diciembre multianual. 144
Figura 115. Proporción de entrega de sedimentos (SDR) promedio anual. 145
Figura 116. Tasa potencial de erosión anual en la cuenca de la ciénaga del Totumo. 146
Figura 117. Tasa anual de sedimento aportado en la cuenca de la ciénaga del Totumo. 147
Figura 118. Aportes anuales de sedimento por afluente en la cuenca de la ciénaga del Totumo. 148
Figura 119. Evolución año 1984-2024 ciénaga del Totumo. 151
Figura 120. Evolución año 1984-2018 ciénaga del Totumo. 152
Figura 121. Orillas multianuales ciénaga del Totumo 153
Figura 122. Evolución histórica de área de ciénaga del Totumo 155
Figura 123. Zonas de análisis distribuidas en el área de la ciénaga del Totumo 156
Figura 124. Zonificación de muestras de fondo. Ciénaga del Totumo. 170
Figura 125. Concentración de sedimentos en Ciénaga del Totumo para todos los escenarios. T=2 años en toda la cuenca, zona norte, media, sur. 173
Figura 126. Mapa de cambios en el fondo para todos los escenarios. T=2 años en toda la cuenca. 174
Figura 127. Mapa de cambios en el fondo para todos los escenarios. T=2 años zona norte. 175
Figura 128. Mapa de cambios en el fondo para todos los escenarios. T=2 años zona media..... 176
Figura 129. Mapa de cambios en el fondo para todos los escenarios. T=2 años zona sur. 177
Figura 130. Evolución de la concentración promedio de limos finos en la ciénaga. Tr = 2 años. .. 178
Figura 131. Variación del fondo promedio en la ciénaga para limos finos. Tr = 2 años. 179

Figura 132. Boxplot del cambio de fondo por zona para densidades 2.65 g/cm³ (consolidado) y 0.5 g/cm³ (bulk), Tr = 2 años. 180
Figura 133. Concentración de arenas finas en bocas de los arroyos principales. 182
Figura 134. Distribución de cambios en el fondo para arenas finas. Tr = 2 años. 183
Figura 135. Distribución de cambios en el fondo para arenas finas. Tr = 2 años, zona norte. 184
Figura 136. Distribución de cambios en el fondo para arenas finas. Tr = 2 años, zona media. 184
Figura 137. Distribución de cambios en el fondo para arenas finas. Tr = 2 años, zona sur. 185
Figura 138. Evolución simulada del nivel promedio del lecho en la Ciénaga del Totumo (1979–2024). 186
Figura 139. Zonas de análisis sedimentológico. 187
Figura 140. Variación del fondo promedio en Zona 9. Tr = 2 años. 188
Figura 141. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 9 (1979–2024). 189
Figura 142. Variación del fondo promedio para Zona 1 al 8. Tr = 2 años. 190
Figura 143. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 1 (1979–2024). 191
Figura 144. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 2 (1979–2024). 192
Figura 145. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 3 (1979–2024). 192
Figura 146. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 4 (1979–2024). 193
Figura 147. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 5 (1979–2024). 193
Figura 148. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 6 (1979–2024). 194
Figura 149. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 7 (1979–2024). 194
Figura 150. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 8 (1979–2024). 195
Figura 151. Plataforma SIG - Ciénaga del Totumo. 202
Figura 152. Elementos Principales de Navegación. 203
Figura 153. Botón ver Capas. 204
Figura 154. Activación de una capa. 205
Figura 155. Panel Derecho, capas activas, recientes y comunidad. 205
Figura 156. Capas recientes. 206
Figura 157. Listado de capas activas. 206
Figura 158. Multimedia y comunidad. 206
Figura 159. Menú Principal. 207
Figura 160. Registro de usuarios. 207
Figura 161. Correo de activación de usuario 208
Figura 162. Panel de Inicio de sesión. 208
Figura 163. Botón haz un aporte. 209
Figura 164. Selección de ubicación del aporte. 209

Figura 165. Formulario de aportes. 210
Figura 166. Listado de asistencia a la socialización – página 1. 216
Figura 167. Listado de asistencia a la socialización – página 2. 217
Figura 168. Listado de asistencia a la socialización – página 3. 218
Figura 169. Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación – No. 1 219
Figura 170. Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación – No. 2 219
Figura 171. Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación – No. 3 220
Figura 172. Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación – No. 4 220

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros geodésicos..... 12
Tabla 2. Equipos utilizados para la obtención de la información topográfica. 13
Tabla 3. Punto de control IGAC para georreferenciación (Red Pasiva). 13
Tabla 4. Punto de materializado en el sitio del proyecto**.** 17
Tabla 5. Equipos utilizados para la obtención de la información batimétrica. 22
Tabla 6.Resumen de resultados de muestras granulométricas..... 25
Tabla 7.Resumen de resultados de muestras granulométricas de apiques en la cuenca. 29
Tabla 8.Resumen de resultados de muestras granulométricas de apiques en la cuenca. 32
Tabla 8. Estaciones IDEAM utilizadas para el análisis hidrológico..... 37
Tabla 9. Parámetros Morfométricos de las Cuencas. 44
Tabla 10. Formulaciones de tiempo de concentración. 47
Tabla 11. Resultados tiempos de concentración en horas. 48
Tabla 12. Resultados tiempos de concentración con formulación del SCS. 49
Tabla 13. Resultados del análisis estadístico para la precipitación máxima diaria anual por estación. 52
Tabla 14. Precipitación en 24 horas para diferentes periodos de retorno. 52
Tabla 15. Precipitación total anual para cada estación en mm. 55
Tabla 16. Pesos para cada estación y precipitación ponderada calculada en mm. 58
Tabla 17. Números de curva por subcuencas 60
Tabla 18. Números de curva por subcuencas calibrados. 67
Tabla 19. Calibración de CN de la cuenca y error reportado. 67
Tabla 20. Caudales picos simulados para diferentes períodos de retorno. 69
Tabla 21. Precipitación en 24 horas ponderada para diferentes periodos de retorno. 70
Tabla 22. Escenarios de precipitación distribuidos en la cuenca en mm. 71
Tabla 23. Datos mensuales de evaporación potencial. 76
Tabla 24. Datos precipitación anual Cuenca del Totumo 77
Tabla 25 Propiedades de apiques y ajuste de factor K..... 127
Tabla 26 Tasas de entrega de sedimento por subcuenca..... 148
Tabla . Evolución de espejo de agua de Ciénaga del Totumo por año. 154
Tabla . Caracterización por zonas en la ciénaga del totumo. 157
Tabla . Concentración de sedimentos por arroyo. 170
Tabla . Parámetros de acumulación sedimentaria por evento de precipitación con Tr = 2 años ... 186

Tabla . Tasas de sedimentación por zonas con evento de precipitación Tr = 2 años 188

1 Introducción

El presente documento contiene el informe final del contrato 0471 de 2024 que tiene por objeto "*Realizar el estudio hidrosedimentológico de la ciénaga Totumo en el marco del cumplimiento de las acciones para la recuperación ambiental de los cuerpos de agua asociados a la cuenca de los arroyos directos al mar Caribe"* celebrado entre la Corporación Autónoma Regional del Caribe y el Consorcio SISCO & HYCEN. En este informe se presentan los resultados del trabajo de campo realizado, donde se llevaron a cabo estudios topográficos y batimétricos, vuelos de dron, tomas de muestras de sedimentos, sólidos suspendidos, apiques y monitoreo de niveles en la Ciénaga del Totumo. También se presentan los resultados correspondientes al modelo hidrológico e hidrodinámico de la cuenca y los resultados correspondientes al análisis potencial de erosión. Toda esta información fue incorporada dentro de la "Plataforma de Información Geográfica de la Ciénaga del Totumo" que se desarrolló como una solución tecnológica para la gestión de información georreferenciada de la cuenca de la Ciénaga del Totumo.

Para caracterizar de manera integral el comportamiento hidrológico, hidráulico y sedimentológico del sistema, se realizó una revisión detallada de información secundaria, incluyendo estudios previos, datos hidrometeorológicos, cartografía base e insumos técnicos disponibles sobre la ciénaga y su entorno. Este análisis permitió establecer criterios de referencia y definir los insumos requeridos para el desarrollo de los modelos.

A nivel de cuenca, se implementó una modelación hidrológica utilizando HEC-HMS, con el fin de simular la generación de escorrentía ante distintos escenarios de precipitación y analizar los hidrogramas de entrada a la ciénaga. Complementariamente, se estimaron los aportes anuales de sedimento por erosión para cada afluente aplicando las metodologías de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE, por sus siglas en inglés) para el cálculo del potencial de erosión y de la proporción de entrega de sedimento (SDR) para estimar las tasas de erosión que llegan anualmente a los puntos de concentración de los afluentes. En el dominio de la ciénaga, se desarrolló una modelación hidrodinámica bidimensional en HEC-RAS 2D, la cual incorpora la operación de compuertas, la influencia del viento, la geometría del canal de salida y el ingreso de caudales desde los principales tributarios, realizando un análisis de sensibilidad variando frecuencia y ubicación de descargas. Esta modelación permitió analizar la distribución espacial de velocidades y niveles, así como identificar zonas de posible acumulación o erosión interna.

Finalmente, se abordó la modelación hidro sedimentológica, simulando el comportamiento de limos y arenas finas bajo distintos escenarios de entrada de sedimentos asociados a ciclos hidrológicos, escenarios prospectivos y a condiciones y temporalidades de amenaza potencial de sedimentación de la ciénaga. Con el desarrollo de este componente se pudo analizar la evolución del fondo de la ciénaga, la concentración de sedimentos en suspensión y la interacción entre procesos de transporte, deposición y re-suspensión.

Los resultados obtenidos de las modelaciones realizadas permitieron comprender el comportamiento hidrosedimentológico de la Ciénaga del Totumo. Con esta información, se desarrollaron productos cartográficos digitales detallados de la cuenca y de la ciénaga que fueron incorporados en una plataforma SIG desarrollada dentro del marco del proyecto como una herramienta de consulta técnica accesible tanto en la web como en dispositivos móviles. Esta arquitectura tecnológica actúa como un repositorio digital interactivo que permite la interacción entre autoridades, colaboradores, comunidades y aliados estratégicos. El uso y manejo de esta solución tecnológica fue socializado con la Coporación Autónoma Regional del Atlántico-CRA y la comunidad por medio de talleres de capacitación.

2 Área de estudio

Teniendo en cuenta el objetivo y alcance del proyecto, el área de estudio se extiende a toda la cuenca de la ciénaga del Totumo, la cual tiene un área de 494 km^2 aproximadamente y los principales aportes que recibe provienen de las quebradas de la Serranía de Piojó en épocas de lluvia. De acuerdo con la CRA (2007) su red de drenaje es de tipo anular hacia la ciénaga y dendrítica en los lomeríos circundantes y sus principales afluentes son los arroyos Roberto, Sabana, Caracol, Calabrisa y Caño Late.

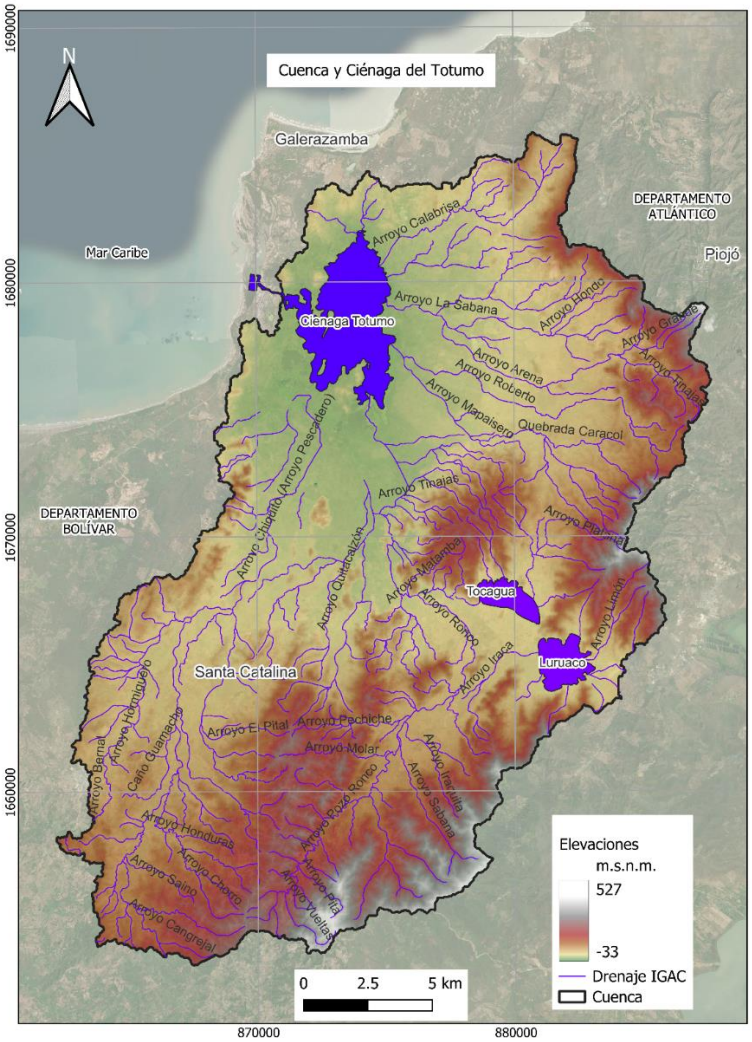


Figura 1. Esquema de la red hidrográfica de la cuenca y Ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia

El cuerpo de agua de interés específico del estudio corresponde a la Ciénaga del Totumo, la cual se encuentra en la franja costera entre el sur del departamento del Atlántico y el norte del departamento de Bolívar, entre los municipios de Piojó-Atlántico y Santa Catalina-Bolívar (Figura 2). La Ciénaga del Totumo tiene un área aproximada de 1.700 hectáreas, incluyendo zonas de humedal, de las cuales cerca de 1.300 hectáreas corresponden al espejo de agua principal, y es considerada como un ecosistema estuarino. Anteriormente se encontraba conectada al mar Caribe mediante la desembocadura denominada “Caño Amansaguapos”; sin embargo, en la actualidad, la comunicación al mar Caribe es regulada por una estructura de compuertas, por lo tanto, sus aguas son dulces.

Según la clasificación Ramsar (1971), la Ciénaga del Totumo se ubica de la siguiente manera:

- Ámbito: marino costero
- Sistema: lacustre-palustre
- Subsistema: permanente-estacional
- Subclase: lagunas costeras dulces

El sistema de la Ciénaga del Totumo está formado por el lago principal, y otros menores intercomunicadas entre sí, tales como la ciénaga de la Perdiz al sur, y la ciénaga del Rodeo al occidente. En las orillas de la ciénaga se encuentra vegetación higrotropofítica; los suelos aledaños son arcillosos, y el macroclima regional se caracteriza por ser muy seco, con gran influencia de los vientos alisios que soplan del nororiente.

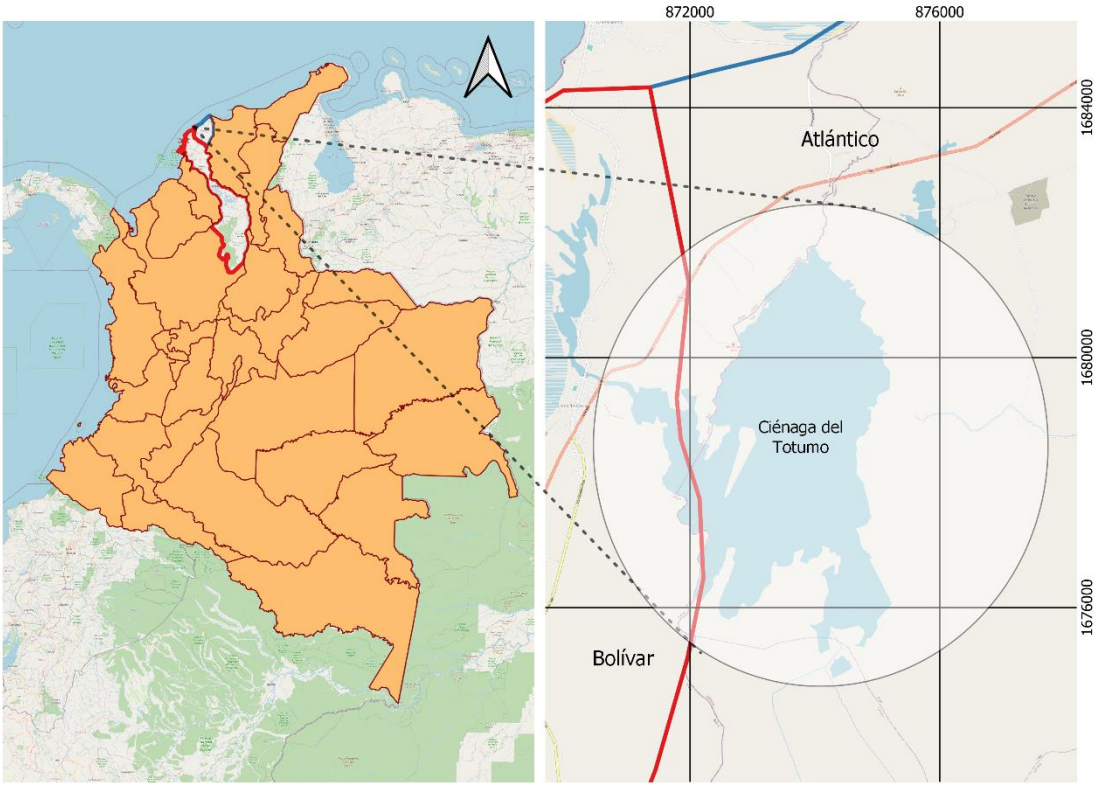


Figura 2. Sector de estudio: Ciénaga del Totumo

3 Revisión y cualificación de información secundaria

La información secundaria asociada a la cuenca y ciénaga del Totumo es escasa o relativamente limitada; sin embargo, se logró recopilar información secundaria hidrológica, hidráulica y sedimentológica como línea base de referencia para el proyecto. La información recopilada a la fecha es la siguiente:

- Registros hidrológicos y meteorológicos de estaciones IDEAM asociadas a la cuenca de la ciénaga del Totumo.
- Imágenes satelitales de libre acceso: Landsat y Sentinel, de la cuenca y ciénaga del Totumo (1972-2024).
- Mapas temáticos elaborados por el IGAC que representan las características del suelo a escala 1:100.000 de los departamentos del Atlántico y Bolívar.
- ESTUDIOS Y ASESORIAS Ltda (2003). Estudio Hidráulico de la Ciénaga del Totumo. Estudio realizado para la Corporación Regional Autónoma del Atlántico - CRA.
- Pinzon, Victor. (2022). Interpretación de la dinámica de la vegetación durante la época seca en la ciénaga del Totumo (Piojó, Atlántico), a partir del cálculo del índice de vegetación normalizada (NDVI) y análisis multitemporal a imágenes Landsat 8 de los años 2014 a 2020. Boletín Científico CIOH. 40. 10.26640/22159045.2021.556.
- Caracterización geomorfológica de la franja litoral del departamento del Atlántico Caribe Colombiano. Estudio publicado por la Dirección General Marítima DIMAR.
- Avila, B., Avila, H (2015). Estimación espacial y temporal del factor de erosividad de la lluvia R a partir de registros diarios de precipitación para el departamento del Atlántico, Colombia. Ingeniería e Investigación vol. 35 n.º 2, agosto-2015 (23-29). https://doi.org/10.15446/ing.investig.v35n2.47773
- Documentación del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico. Corporación Autónoma Regional del Atlántico CRA. Enero de 2007.
- Pérez, D., *et al.* (2010). *Plan de Manejo y Ordenación Pesquera del Humedal Ciénaga del Totumo (Bolívar - Atlántico)*. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12010/1405.

4 Trabajos de Campo

En este capítulo se presentan la descripción y resultados del trabajo de campo realizado en el proyecto, incluyendo la metodología y equipos utilizados en la realización de las actividades.

4.1 Levantamiento topobatimétrico de la ciénaga del Totumo

Los trabajos de campo referentes a topografía, batimetría y vuelos de Dron fueron realizados entre finales de octubre y mediados del mes de noviembre del año 2024. Estos fueron realizados simultáneamente y sincronizados con la instalación de sensores de niveles.



Figura 3. Trabajos de campo en la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

La consolidación de la información de las tres fuentes resultó en un modelo de elevación digital para la ciénaga del Totumo. Este modelo de elevación digital se obtuvo luego del procesamiento de las imágenes de dron de las cuales, para cada uno de los vuelos se obtuvieron Rasters de elevación que fueron ajustados teniendo en cuenta la topografía levantada en zonas de control. Todas las imágenes de los vuelos están georreferenciadas con precisión utilizando metodología RTK. La batimetría en profundidades fue transformada a cota teniendo en cuenta los niveles medidos por el sensor de nivel instalado en una de las pilas del puente del totumo en el caño Amanzaguapo, conectado directamente con la ciénaga del totumo. Como resultado de estos trabajos se puede observar el modelo de elevación digital en la Figura 4.

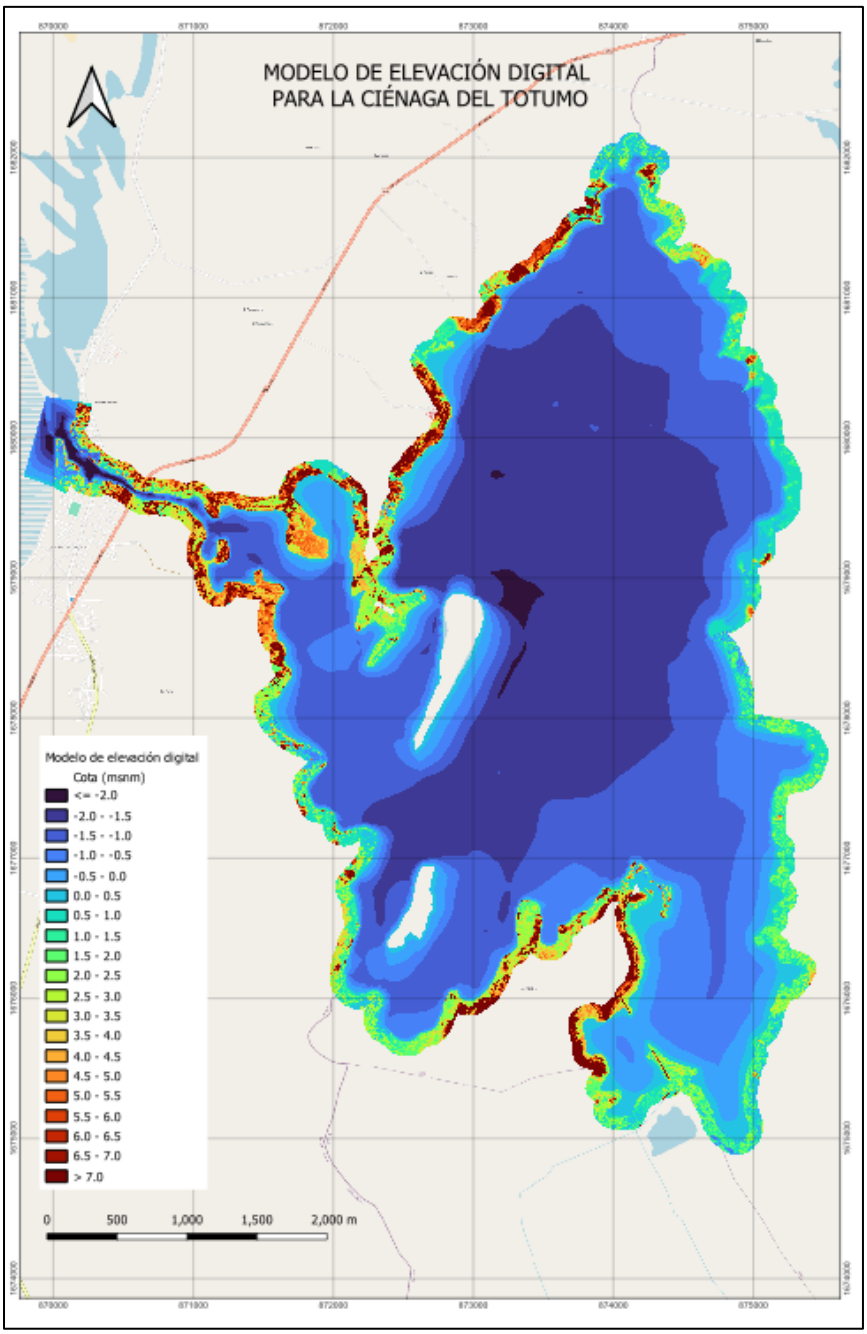


Figura 4. Modelo de elevación Digital para la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Estudio topográfico

4.2.1 Metodología de los levantamientos

Los levantamientos fueron realizados por personal calificado y con experiencia, utilizando equipos que cumplen con los estándares nacionales para este tipo de trabajo. La metodología para la ejecución los trabajos topográficos se describen a continuación:

- Puntos de control: Corresponde a las referencias topográficas que componen la red geodésica oficial del IGAC, para "amarrar" los levantamientos planimétricos y altimétricos. Para el levantamiento de la zona de estudio, se utilizó el punto IGAC 13673004 en el corregimiento de Loma de Arena, en el municipio de Santa Catalina, Bolívar.

- Calibración y alistamiento de equipos: Antes de iniciar operaciones y dentro del concepto de aseguramiento de calidad, se procedió a establecer los siguientes pasos: (1) Revisar estado de batería, equipos, de elementos de protección y cables requeridos. (2) Verificación de sistemas de proyección satelital y coordenadas con respecto a puntos de control. (3) Revisar consistencia de coordenadas con puntos de control conocido. (4) Se verifica con cinta métrica de un punto próximo entre la base y el rover, para observar si hay diferencia entre la distancia que registra el equipo y la medida. (5) Se realiza el cierre con un punto de coordenadas conocidas para verificar precisión y resultados que arroja el equipo.

- Planificación de los trabajos: los trabajos se definieron en oficina por los expertos en el área que hacen parte del consorcio. Se determinaron los sitios teniendo en cuenta el alcance contractual de los trabajos.

- Trabajos de campo: Los trabajos de campo se realizaron de acuerdo con la planificación de los trabajos con los equipos de medición y software de apoyo. En el sitio de trabajo, se inició con la lectura de los puntos de referencia o de control oficiales del IGAC. Luego el personal de campo ejecutó las actividades de mediciones según el plan de trabajo, conservando los protocolos de precisión de acuerdo con equipo de trabajo. Se realizó la verificación respectiva con puntos de chequeos y control. Esto permitió validar la veracidad y precisión del trabajo en campo.

Para la ejecución del levantamiento topográfico, se utilizó el método de radiaciones desde el punto de referencia trasladado a partir del punto IGAC con coordenadas x, y, z conocidas. Desde este

punto se tomarán detalles que conformen la geometría deseada, teniendo en cuenta los detalles encontrados como terrazas, taludes, depresiones, zonas planas, y toda variación topográfica de interés. Los puntos x, y, z tomados en campo, conforman lo que se denomina “lluvia de puntos”, los cuales, de acuerdo con su cantidad, generan las superficies de cálculo para obtener superficies en general.

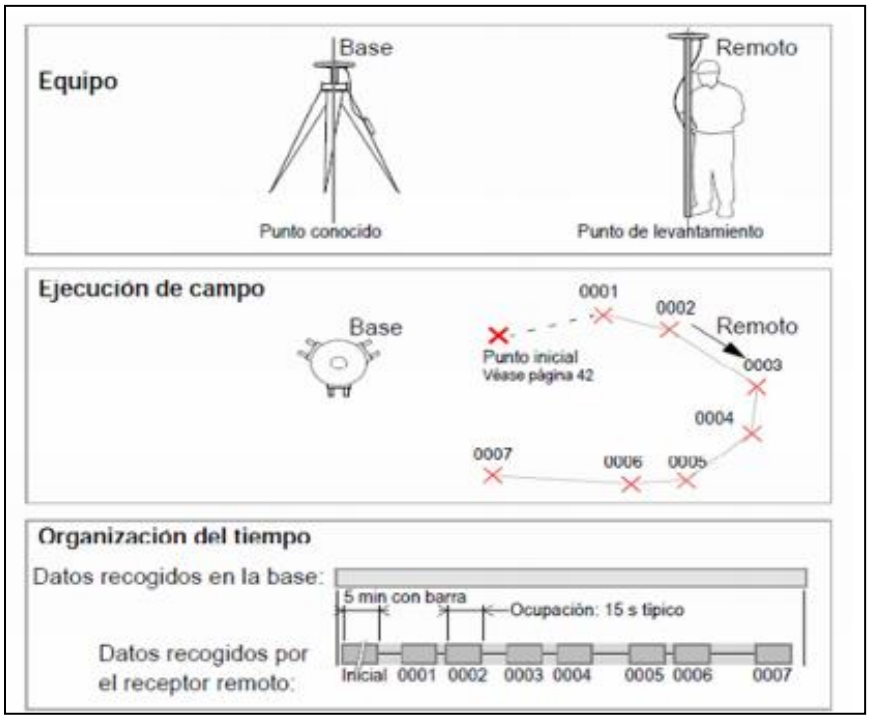


Figura 5. Procedimiento de campo.
Fuente: Elaboración propia.

- Proceso de la información: En oficina se cuenta con un equipo de profesionales experto, quien descargó las bases de datos que componen el levantamiento. En conjunto con el personal de campo, se realizó el proceso de la información para luego general los planos definitivos en informes.

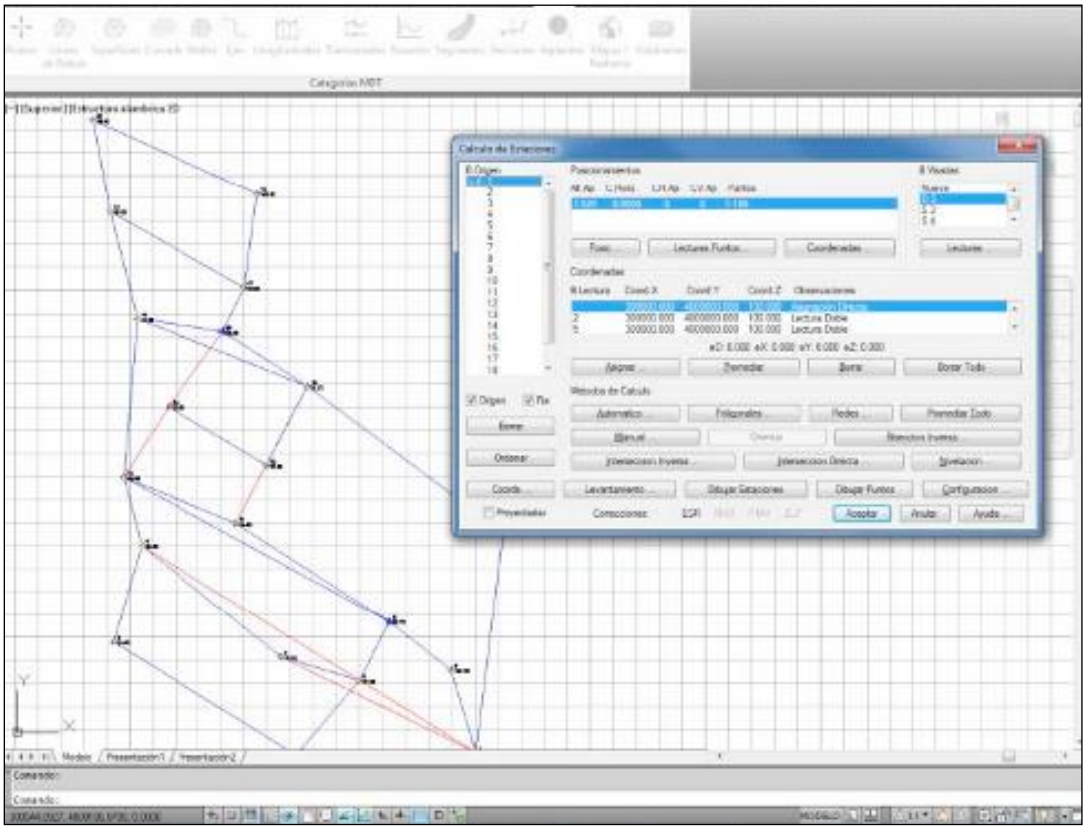


Figura 6. Proceso de la información.
Fuente: Elaboración propia.

- Revisión de los resultados y presentación del informe: Al igual que el procedimiento anterior, los ingenieros expertos se encargó de revisar los resultados y hacer los respectivos planos.

4.2.2 Sistema de proyección geográfica

El sistema de referencia utilizado para las mediciones topográficas está referido según la resolución 471 del 14 de mayo del 2020 emitida por el Instituto Geografico Agustin Codazzi (IGAC), en donde se estipula el sistema de coordenadas “MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL”, sus parámetros geodésicos se establecen en la Tabla 1.

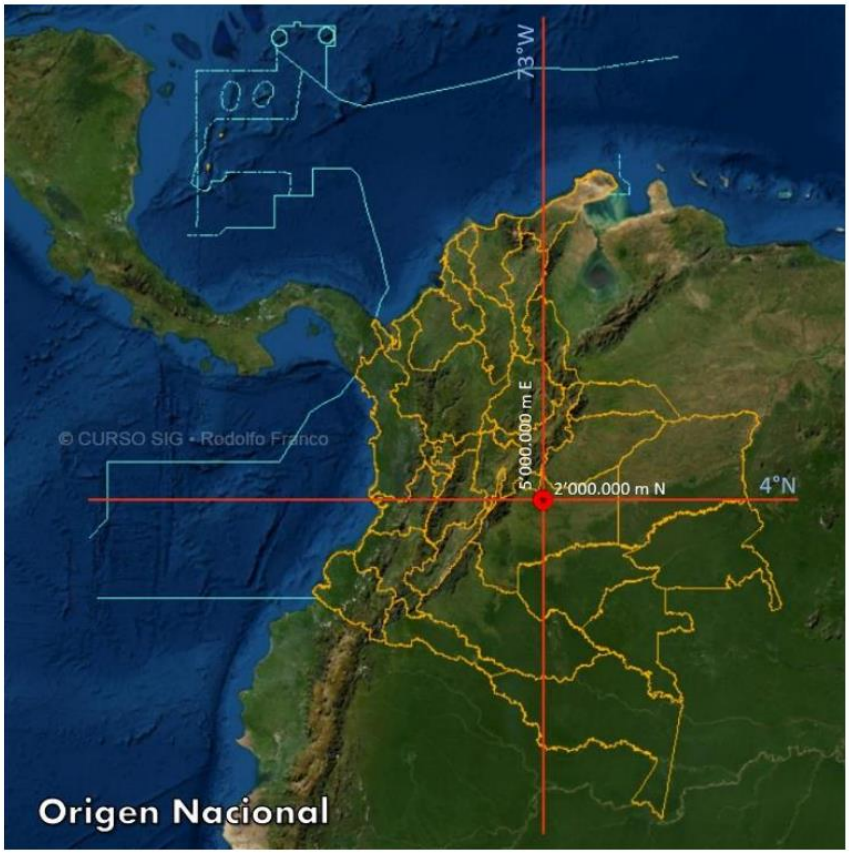


Figura 7. Zonas de origen Magna Sirgas Res. 471 de 2020.
Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros geodésicos utilizados para el levantamiento se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros geodésicos.

Nombre Oficial	MAGNA – SIRGAS Origen Nacional
WKID:	9377 autoridad: EPSG
Proyección:	Transversa de Mercator
Falso Este:	5,000,000.00
Falso Norte:	2,000,000.00
Meridiano Central:	73°
Factor de Escala:	0.9992
Latitud de origen:	4°
Unidad lineal:	Metro (1,0)

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

4.2.3 Equipos empleados en el levantamiento topográfico

En la Tabla 2 se relacionan los equipos utilizados para el levantamiento topográfico.

Tabla 2. Equipos utilizados para la obtención de la información topográfica.

EQUIPO	MARCA/MODELO	ESPECIFICACIONES	FOTOGRAFÍA
GPS GNSS RTK	GPS RTK CHC I50 Professional + GNSS	432 canales Conectividad amplia Modos de trabajo flexibles Robusto y compacto Baterias duales e intercambiables	

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Punto de control para la georreferenciación

Para la georreferenciación del punto de control, se tuvieron en cuenta los puntos geodésicos oficiales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC en las cercanías de las zonas de los trabajos. El punto oficial del IGAC disponible más cercano junto a cada cruce se encuentra en la Tabla 3, donde también se incluye la información geodésica el punto de referencia trasladado a partir del punto IGAC y a partir de cual se hizo el levantamiento.

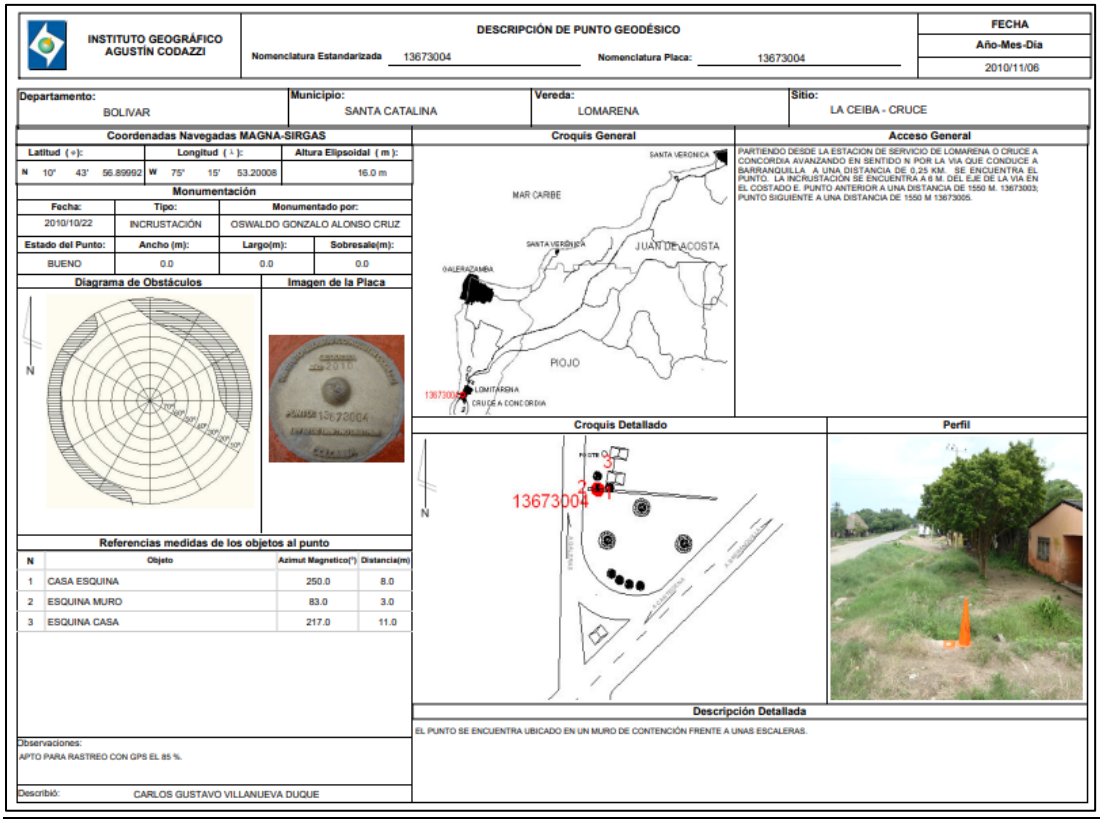
Tabla 3. Punto de control IGAC para georreferenciación (Red Pasiva).

PUNTO	LOCALIZACIÓN	COORDENADAS GEODÉSICAS WGS84		ALTURA ELIPSOIDAL (m)	OBSERVACIÓN
		LATITUD (°)	LONGITUD (°)		
IGAC 13673004	Loma de arena, Santa Catalina, Bolívar.	10°43'56.899992" N	75°15'53.20008" W	16.0	Punto oficial IGAC Red Pasiva

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).



Figura 8. Punto de amarre geodésico (Red Pasiva IGAC)
Fuente: Elaboración propia.



INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

DESCRIPCIÓN DE PUNTO GEODÉSICO

Nomenclatura Estandarizada: 13673004 Nomenclatura Placa: 13673004

FECHA: Año-Mes-Día: 2010/11/06

Departamento:	Municipio:	Vereda:	Sitio:
BOLIVAR	SANTA CATALINA	LOMARENA	LA CEIBA - CRUCE

Coordenadas Navegadas MAGNA-SIRGAS

Latitud (φ):	Longitud (λ):	Altura Elipsoidal (m):
N 10° 43' 56.89992	W 75° 15' 53.20008	16.0 m

Monumentación

Fecha:	Tipo:	Monumentado por:	
2010/10/22	INCRUSTACIÓN	OSWALDO GONZALO ALONSO CRUZ	
Estado del Punto:	**Ancho (m):**	**Largo(m):**	**Sobresale(m):**
BUENO	0.0	0.0	0.0

Diagrama de Obstáculos

Imagen de la Placa

Croquis General

Acceso General

PARTIENDO DESDE LA ESTACION DE SERVICIO DE LOMARENA O CRUCE A CONCORDIA AVANZANDO EN SENTIDO N POR LA VIA QUE CONDUCE A BARRANQUILLA A UNA DISTANCIA DE 0.25 KM. SE ENCUENTRA EL PUNTO. LA INCRUSTACIÓN SE ENCUENTRA A 6 M. DEL EJE DE LA VIA EN EL COSTADO E. PUNTO ANTERIOR A UNA DISTANCIA DE 1550 M. 13673003; PUNTO SIGUIENTE A UNA DISTANCIA DE 1550 M 13673005.

Referencias medidas de los objetos al punto

N	Objeto	Azimut Magnetico(°)	Distancia(m)
1	CASA ESQUINA	250.0	8.0
2	ESQUINA MURO	83.0	3.0
3	ESQUINA CASA	217.0	11.0

Croquis Detallado

Perfil

Descripción Detallada

EL PUNTO SE ENCUENTRA UBICADO EN UN MURO DE CONTENCIÓN FRENTE A UNAS ESCALERAS.

Observaciones:
APTO PARA RASTREO CON GPS EL 85 %.

Describió: CARLOS GUSTAVO VILLANUEVA DUQUE

Figura 9. Certificado punto IGAC 13673004
Fuente: Instituto geográfico Agustín Codazzi.

Con el punto de la red pasiva, se realizó un traslado más cercano a la zona del proyecto mediante la metodología RTK, dado que el sector se encuentra cercano al punto IGAC seleccionado (Ver Figura 10). Se materializó un punto en el sitio del proyecto con las coordenadas establecidas en el cual fue amarrada la información levantada. En la Figura 11 se presenta el punto materializado y en la Tabla 4 se presentan las coordenadas del punto materializado.

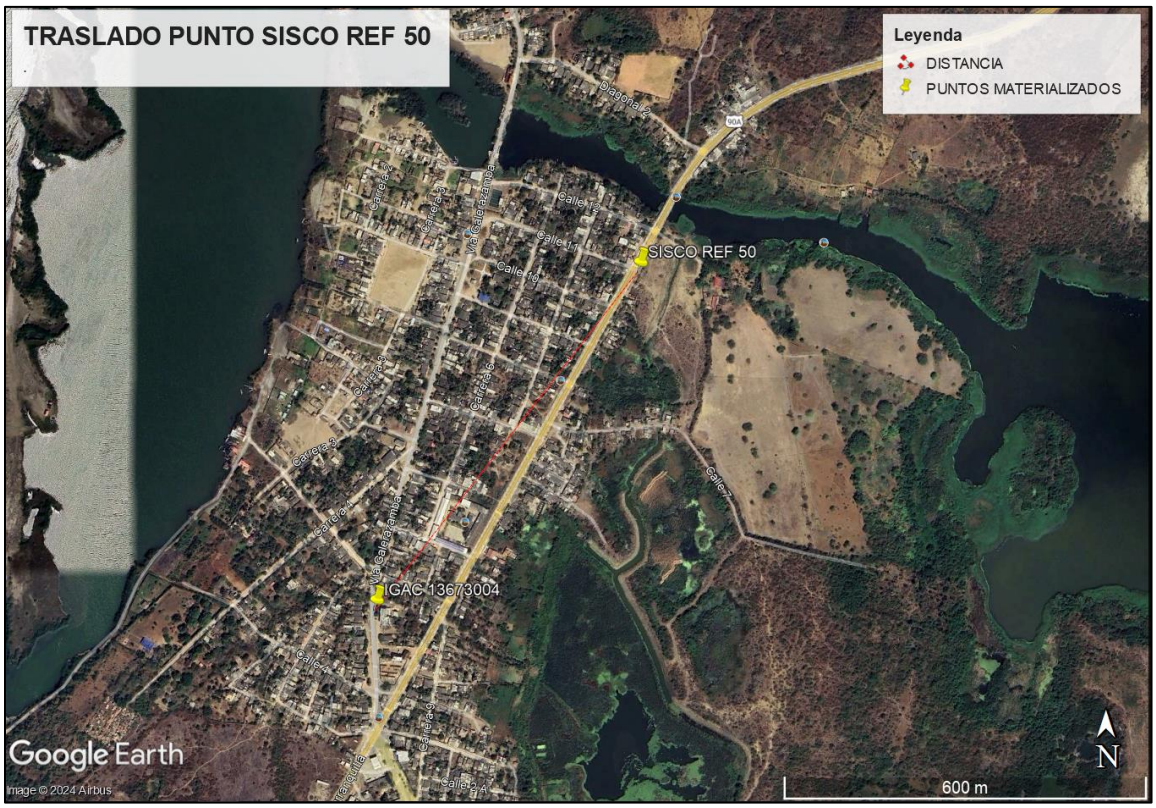


Figura 10. Traslado del Punto IGAC 13673004 a la zona del proyecto.
Fuente: Elaboración propia con imagen satelital de Google Earth.





Figura 11. Materialización del punto SISCO REF 50- en la zona del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Punto de materializado en el sitio del proyecto.

PUNTO	LOCALIZACIÓN	COORDENADAS PLANAS		COTA (m)	OBSERVACIÓN
		ESTE	NORTE		
SISCO REF 50	Entrada Finca, Cerca al malecón en Loma de Arena	4752852.747	2745530.855	3.232	Punto Materializado sitio del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Ejecución del levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó en zonas donde la vegetación permitía el acceso en la margen de la ciénaga del Totumo con secciones a aproximadamente cada 25 metros incluyendo infraestructura existente en el sector. Ver Figura 12.



Figura 12. Registro fotográfico de la ejecución del levantamiento topográfico.
Fuente: Elaboración propia.

4.3 Vuelos de Dron

La toma de imágenes con dron se realizó entre los días 31 de octubre y 08 de noviembre de 2024. A continuación, se presenta la metodología utilizada, los equipos que se emplearon para la toma de imágenes.

La toma de imágenes con dron se realizó con la ejecución de varios vuelos programados con una duración promedio de 15 minutos, cubriendo un área total de 50 Ha (Aproximadamente de 2 Km lineales)

4.3.1 Metodología del levantamiento

Los levantamientos fueron realizados por personal calificado y con experiencia, utilizando equipos que cumplen con los estándares nacionales e internacionales para este tipo de trabajo. La metodología para la ejecución los levantamientos de la franja de la ciénaga se describen a continuación:

4.3.2 Planificación de los trabajos y definición de las líneas de levantamiento

Inicialmente se realizó el trabajo de reconocimiento de campo para la planeación y ejecución de los trabajos, así como el posicionamiento y localización de los puntos de control de terreno con un GPS CHC-NAV RTK i50. Se localizaron al menos 3 puntos topográficos en el área de medición, además del punto de control cercano a la zona de despegue de la aeronave no tripulada.

Niveles de Referencia: Para la georreferenciación de las fotografías aéreas del levantamiento topográfico con tecnología UAV, se realizó el amarre al sistema de coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional trasladando el punto 13673004 que se encuentra localizado en el corregimiento de Loma de Arena, municipio de Santa Catalina, Bolívar hacia los sitios de despegue de la aeronave.

Parámetros de programación de vuelos: Se definieron los parámetros necesarios para la ejecución del vuelo como altura, velocidad, GSD, Gimbal Picth, entre otros.

Ejecución y captura de información: Una vez diseñadas las líneas, programado el vuelo e identificado el punto de control, se procedió con la ejecutar los vuelos programados. Para la ejecución, inicialmente se armó la base RTK y se configuró la altura instrumental y coordenada para posteriormente realizar el ascenso.



Figura 13. Ejecución del levantamiento con equipo dron (UAV).
Fuente: Elaboración propia.

Proceso de información: Para el procesamiento de la información se utilizó el software de procesamiento de datos Agisoft Metashape en el cual se cargaron las imágenes tomadas durante el vuelo. La densificación y el alineamiento de las fotografías se realizó en modo “high”. Por último, se procesó el ortomosaico en formato. ecw y .kmz para su fácil visualización, además para la obtención de los modelos de elevación digital se generaron nubes de puntos para la construcción de una malla que finalmente fue rasterizada para la obtención de los DEM en formato TIF.

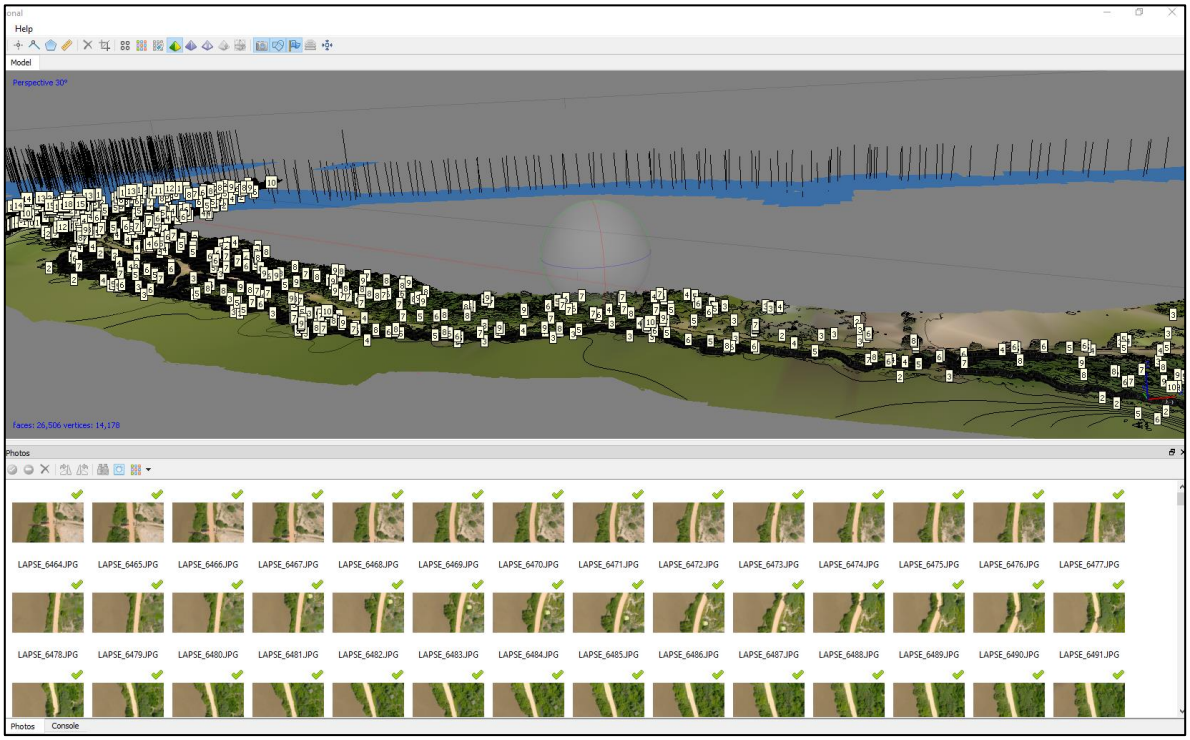


Figura 14. Proceso de información en oficina.

4.4 Estudio batimétrico

Se ejecutó el levantamiento batimétrico acore a las especificaciones descritas en el anexo técnico y para el correcto empalme con la información topográfica se tomaron las cotas de agua durante la ejecución de los trabajos. La metodología presenta a continuación:

4.4.1 Metodología

Los levantamientos batimétricos fueron realizados por personal calificado y con experiencia, utilizando equipos que cumplen con los estándares nacionales para este tipo de trabajo el CHC-NAV D390 y un software especializado de navegación HYPACK. La metodología para la ejecución los trabajos batimétricos se describen a continuación:

- Planificación de los trabajos y planeamiento de líneas de sondeos: Inicialmente a partir de un Master (referencia del proyecto), se planificaron las líneas de las secciones en el sector donde se realizaron los trabajos, que corresponde a los recorridos que se realizaron con la lancha para determinar las profundidades. En campo, con la ayuda del software de navegación, se hicieron los recorridos programados de las líneas planificadas. Empleando la opción de navegación del software de recolección de datos, se verificó y corrigió en tiempo real, la posición de la embarcación con respecto a la línea programada.

- Niveles de Referencia (Corrección por niveles): Para la zona de estudio se tiene la información medida en campo con sensores de niveles ubicados en el puente del Totumo y aguas abajo de las compuertas en Loma de Arena.

- Verificación de buen funcionamiento de Equipos (Calibración Ecosonda): Se verificó el buen funcionamiento del equipo ecosonda al comienzo del levantamiento, con el objeto de verificar la confiabilidad de los registros. Para ello, se realizó un proceso que consistió en registrar puntos con profundidad previamente conocida y se comparó con la señal del equipo a manera de ajustarla a que registre adecuadamente.

- Montaje del Equipo: El montaje de los equipos se realizó en la embarcación de manera segura, con el objeto de que durante los trabajos estén fijos y no sean afectados por el movimiento de la lancha durante el tránsito en la zona de levantamiento. Se procura que la posición del transductor del ecosonda sea fija con respecto a la línea de flotación de la

embarcación, y preferiblemente fijando el transductor al casco. Esto ayudó a disminuir los errores por oleaje o velocidad de corriente y otras embarcaciones durante las mediciones.

- Ejecución y Captura de Información: La ejecución y captura de la información batimétrica, se realizó utilizando un procedimiento de posicionamiento dinámico. Esta se realizó a través del software de navegación (HYPACK), el cual se instaló a un computador portátil, equipado con las interfaces necesarias para recibir la señal de la unidad móvil del GPS.

- Proceso de la información: En oficina se verificó el resultado de los trabajos, consistencia de los datos, datos anómalos, para efectuar el procesamiento del trabajo. Se incluyó en esta fase lo que tiene que ver con la corrección por niveles o mareas de acuerdo con el caso.

- Revisión de resultado y presentación de informe: El ingeniero especialista revisó la información a manera de verificar la consistencia de los datos colectados y las correcciones por niveles en los puntos de cruces entre las líneas planificadas y las de verificación.

4.4.2 Equipos utilizados en el levantamiento batimétrico

Los equipos utilizados para el levantamiento batimétrico en el sector de estudio se relacionan en la Tabla 5.

Tabla 5. Equipos utilizados para la obtención de la información batimétrica.

EQUIPOS PARA LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO		
EQUIPO	**MODELO**	**FOTOGRAFÍA**
ECOSONDA UNA FRECUENCIA, SISTEMA TODO EN UNO	CHCNAV D390	

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Ejecución del levantamiento batimétrico

El levantamiento batimétrico se realizó con la ejecución de un levantamiento general de la zona, incluyendo el canal de conexión de la ciénaga del Totumo con el mar caribe, antes y después de las compuertas y la ciénaga del Totumo (Ver Figura 15).



Figura 15. Registro fotográfico de la ejecución del levantamiento batimétrico.
Fuente: Elaboración propia.

4.5 Toma de muestras de sedimentos del lecho de la ciénaga

Como parte de las actividades de medición se tomaron muestras de material de fondo en 25 puntos distribuidos en la extensión del espejo de agua de la ciénaga del Totumo. La localización de las muestras hidro-sedimentológicas recolectadas se muestra en la Figura 16, adicionalmente se tomaron muestras en cada uno de los deltas de los arroyos.



Figura 16. Localización de muestras hidrosedimentológicas.
Fuente: Elaboración propia.

4.5.1 Metodología

El muestreo se realizó mediante la metodología del Cono de Arrastre, la cual consistió en extraer los sedimentos del fondo mediante el uso de un cono de acero inoxidable, el cual lleva orificios en la parte superior con el fin de evacuar el agua, pero no los sedimentos. El instrumento fue llevado al fondo y luego con ayuda de la embarcación se hace que el cono se arrastre en el fondo para así tomar cantidades representativas de material de fondo. Ver. Al obtener suficiente cantidad de la muestra, se empaca en bolsas zip-pac y se llevan a laboratorio certificado para realizar ensayos de clasificación analizando los límites de consistencia (líquido y plástico) y la gradación.

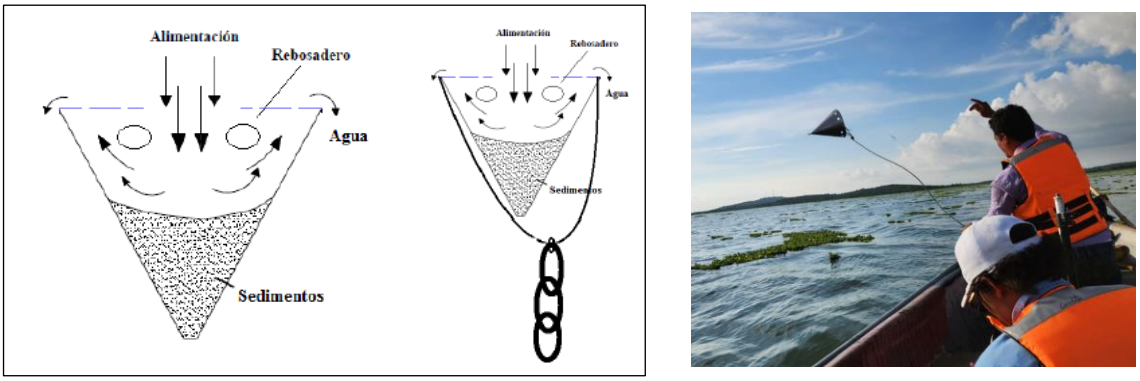


Figura 17. Cono de arrastre para toma de muestras de fondo.
Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Resultados de clasificación de muestras recopiladas

A continuación, se presenta un resumen de los análisis de las muestras recopiladas, algunas de las muestras arrojaron material orgánico en su totalidad, debido a ello el tamizaje no fue posible. Muchas de estas se clasifican como limos de baja plasticidad de acuerdo con la clasificación establecida en el sistema unificado de clasificación de suelos (USCS, por sus siglas en inglés). Se observa también que de los resultados obtenidos las muestras que están más próximas al canal de conexión de la ciénaga del Totumo con el mar caribe tienen granulometrías más gruesas, llegando con clasificaciones de arenas y D50 = 0.15 mm.

Tabla 6.Resumen de resultados de muestras granulométricas.

MUESTRA	D50 (mm)	% Pasa Tamiz 200	Clasificación USCS	Descripción
P1	-	95.0%	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
P2	-	85.5%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P3	-	87.1%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P4	-	79.8%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P6	-	93.8%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P13	0.17	4.2%	SP	Arenas mal gradadas
P14	0.15	32.7%	SM	Arenas Limosas
P16	-	81.5%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P17	-	96.8%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P18	-	88.2%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P21	-	86.0%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P22	-	96.0%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P23	-	80.3%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P24	-	77.2%	ML	Limos de Baja Plasticidad

MUESTRA	D50 (mm)	% Pasa Tamiz 200	Clasificación USCS	Descripción
P25	-	72%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P26	-	74%	ML	Limos de Baja Plasticidad
P27	-	81%	ML	Limos de Baja Plasticidad

4.6 Apiques en la cuenca

Como parte de las actividades de medición se tomaron muestras de material del material del suelo en 30 puntos distribuidos en diferentes sitios de la ciénaga del Totumo, esta información es clave para la estimación de la erosión en la cuenca. En la Figura 16 se pueden observar los sitios de apique

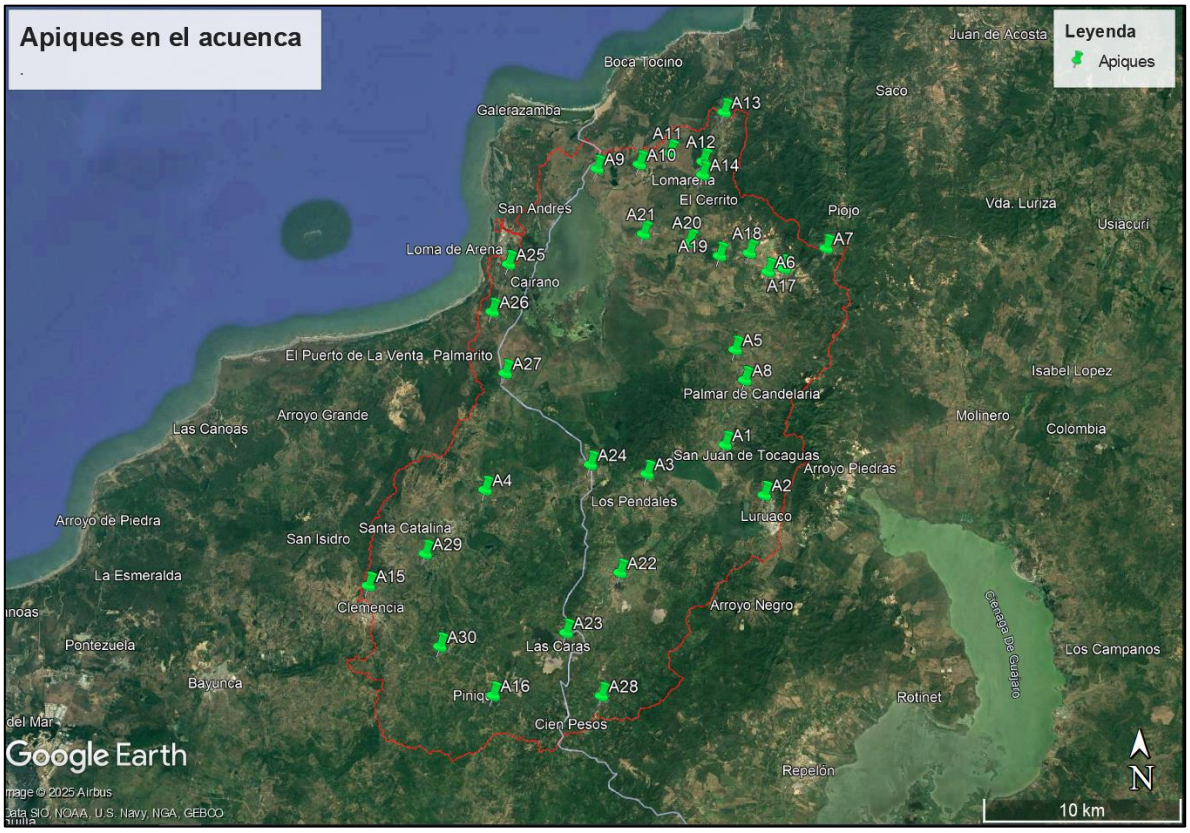


Figura 18. Localización de apiques en la cuenca de la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

4.6.1 Metodología

Para los apiques se hicieron excavaciones utilizando paladraga hasta la profundidad de 50 cm, las muestras se extrajeron garantizando que no se tomara material vegetal que contaminara las muestras.



Figura 19. Cono de arrastre para toma de muestras de fondo.
Fuente: Elaboración propia.

4.6.2 Resultados de clasificación de muestras recopiladas

A continuación, se presenta un resumen de los análisis de las muestras recopiladas. Muchas de estas se clasifican como limos de baja plasticidad de acuerdo con la clasificación establecida en el sistema unificado de clasificación de suelos (USCS, por sus siglas en inglés).

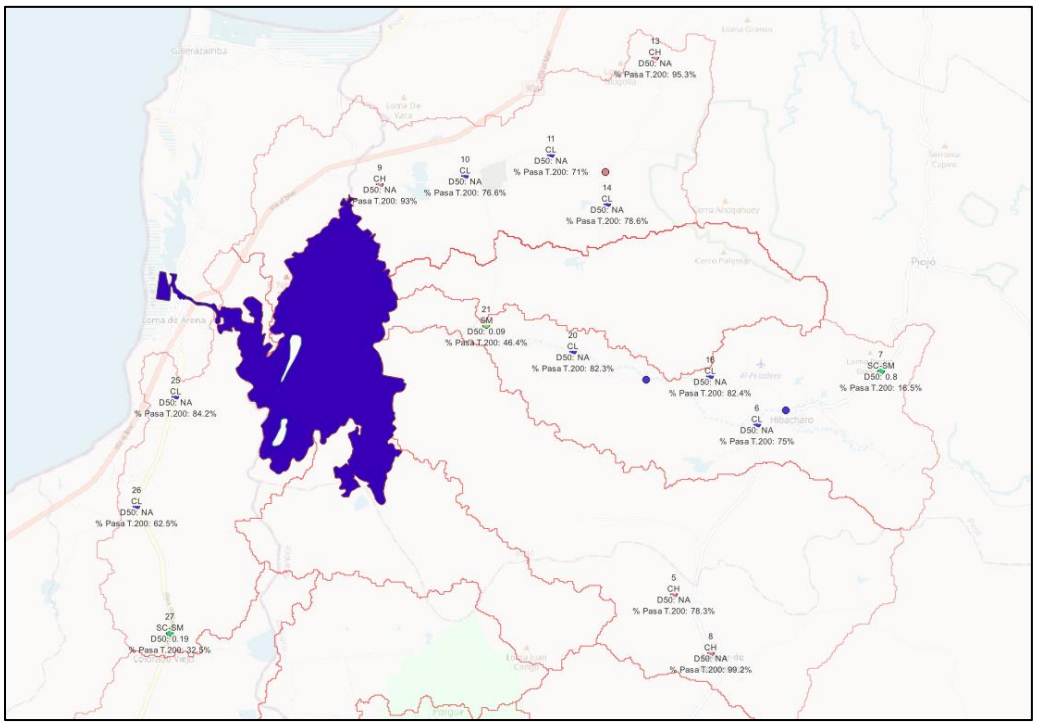


Figura 20 Mapa de resultados de apiques en la cuenca - zona norte

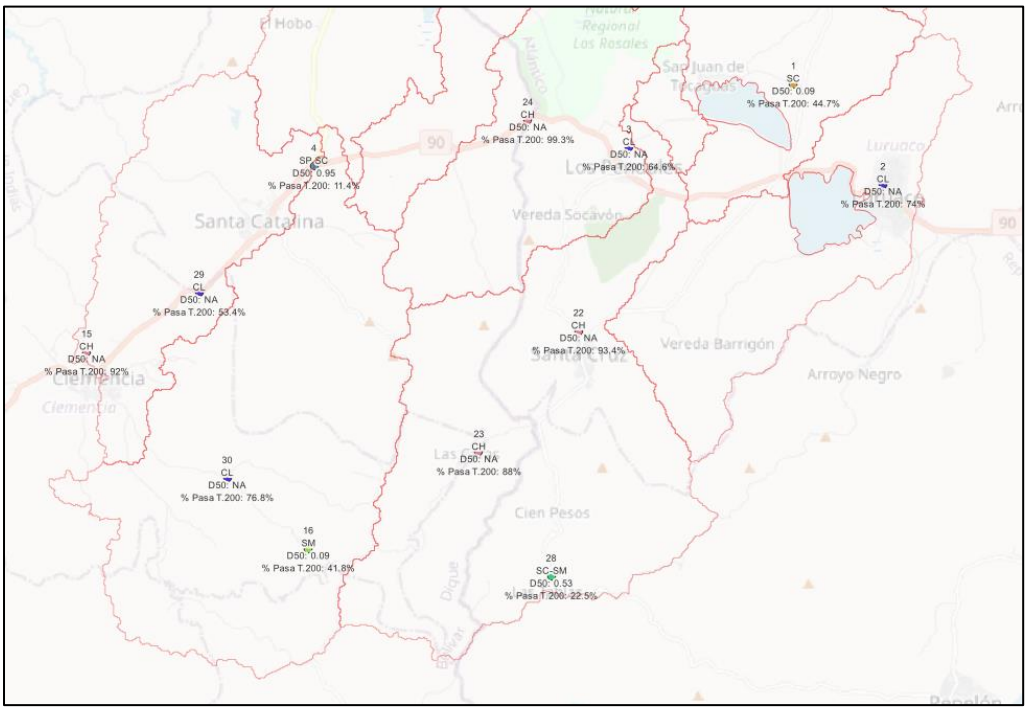


Figura 21 Mapa de resultados de apiques en la cuenca – zona sur.

Tabla 7.Resumen de resultados de muestras granulométricas de apiques en la cuenca.

Apique No.	D50 (mm)	Clasificación USCS	Descripción
1	0.09	SC	Arcilla Arenosa
2	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
3	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
4	0.95	SP SC	Arena mal Graduada con Arcilla
5	NA	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
6	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
7	0.8	SC-SM	Arena Arcillosa con Limo
8	NA	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
9	NA	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
10	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
11	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
12	NA	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
13	NA	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
14	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
15	NA	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
16	0.09	SM	Limo Arenoso
17	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
18	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
19	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
20	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
21	0.09	SM	Limo Arenoso
22	NA	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
23	NA	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
24	NA	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
25	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
26	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
27	0.19	SC-SM	Arena Arcillosa con Limo
28	0.53	SC-SM	Arena Arcillosa con Limo
29	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
30	NA	CL	Arcilla de Baja Plasticidad

4.7 Toma de muestras de sólidos suspendidos en la ciénaga

Entre las mediciones realizadas también se tomaron 25 muestras de agua que coinciden en localización con las muestras tomadas de sedimentos del lecho. Las muestras fueron recolectadas y transportadas cuidadosamente al laboratorio para la determinación de sólidos suspendidos totales para cada una de ellas.

4.7.1 Metodología

Para las mediciones de la concentración de sedimentos en suspensión se empleó una botella Niskin, la cual permite la toma de muestras de agua a la profundidad deseada, posee un diseño el cual facilita el flujo mientras es lanzada. Su interior, libre de cuerpos metálicos, mantienen condiciones de la muestra que se puede extraer a través del grifo situado en la parte exterior.

La botella consta de un tubo con dos tapones en sus extremos conectados por gomas de látex. Los tapones se mantienen abiertos durante el descenso, lo que facilita el paso de agua. El sistema de cierre, situado en la parte superior de la botella, se acciona mediante mensajero a la profundidad deseada (Figura 22)

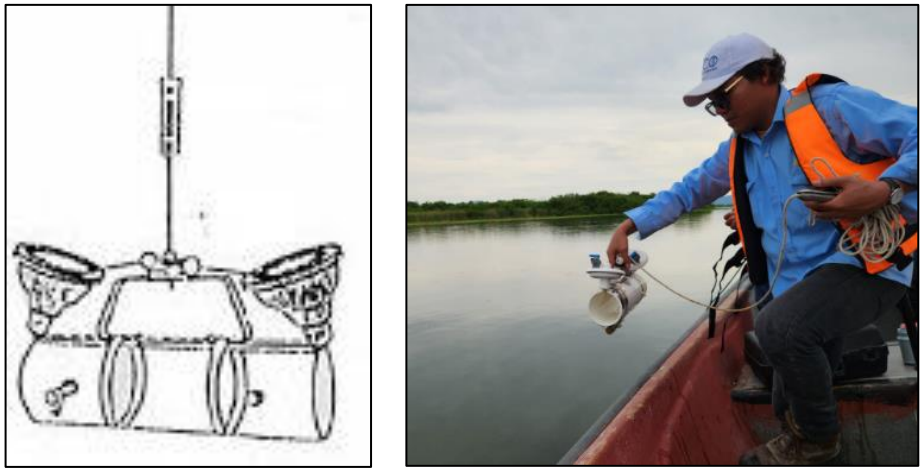


Figura 22. Botella de Niskin.

Para realizar la toma de muestras, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos básicos, en primera instancia las muestras se tomaron a una distancia desde la superficie a 0.6 veces la profundidad en el punto a muestrear. Para la toma de la muestra, se procedió a bajar la botella a la profundidad deseada y enviar el dispositivo mensajero para activar el mecanismo de cierre, luego se sube el instrumento, y se vierte el agua por el grifo en la parte exterior a una botella la cual estaba debidamente marcada con los datos de la muestra, para ser enviada posteriormente al laboratorio.



Figura 23. Muestras de sólidos en suspensión.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2 Resultados de clasificación de muestras recopiladas

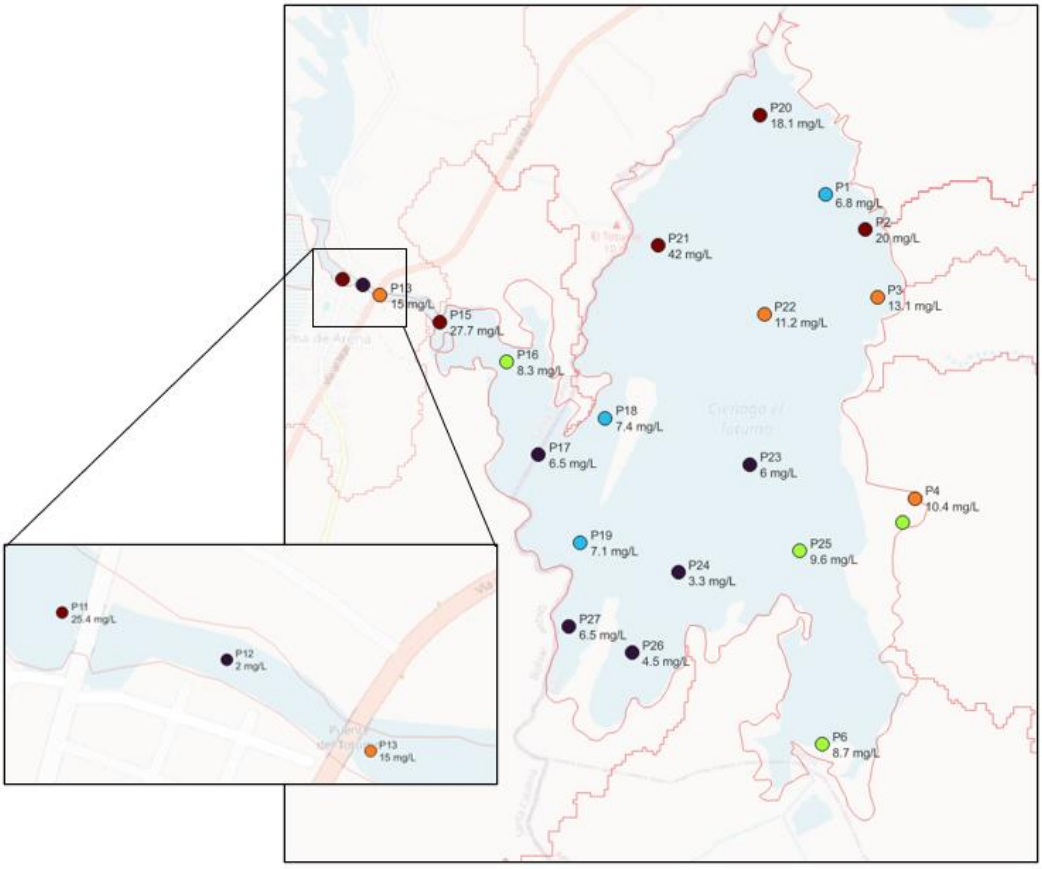


Figura 24. Ubicación y concentración de SST en la ciénaga del Totumo.

Tabla 8.Resumen de resultados de muestras granulométricas de apiques en la cuenca.

MUESTRA	SST (mg/L)
P1	6.8
P2	20
P3	13.1
P4	10.4
P5	8.7
P6	8.7
P11	25.4
P12	LDM<2
P13	15
P15	27.7
P16	8.3
P17	6.5
P18	7.4
P19	7.1
P20	18.1
P21	42
P22	11.2
P23	6
P24	LDM<3.3
P25	9.6
P26	LDM<4.5
P27	6.5

4.8 Monitoreo de niveles

Con el objetivo de monitorear el comportamiento de la lámina de agua en la ciénaga del Totumo, se colocaron sensores de presión manométrica en puntos estratégicos de la zona de estudio. Los puntos escogidos fueron en el puente del Totumo en el caño Amanzaguapo (canal de conexión de la ciénaga del Totumo con el mar caribe) y aguas abajo de las compuertas de la ciénaga del Totumo (del lado oeste, en la ciénaga costera “La Redonda”).



Figura 25. Ubicación de los sensores instalados.
Fuente: Elaboración propia.

Los sensores de niveles utilizados fueron los Water level loggers HOBO onset.



Figura 26. Sensor de medición de presión manométrica.
Fuente: HOBO Data Loggers.



Figura 27. Sensor de medición de presión atmosférica.
Fuente: HOBO Data Loggers.

Para la instalación de los sensores, estos se colocan en tubos PVC de longitud de 1m con diámetro de 1.25 a 1.5 pulgadas. Con pasadores se fija el sensor y este tubo se instala firmemente en alguna

estructura y luego con un rover RTK se toman sus coordenadas y la elevación a la que queda instalado.



Figura 28. Instalación de sensor en pila central del puente del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 29. Instalación de sensor aguas abajo de las compuertas de la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

4.8.1 Registro de niveles obtenido

La información obtenida en cada uno de los sensores instalados se puede visualizar en las Figura **30** y Figura **31**.

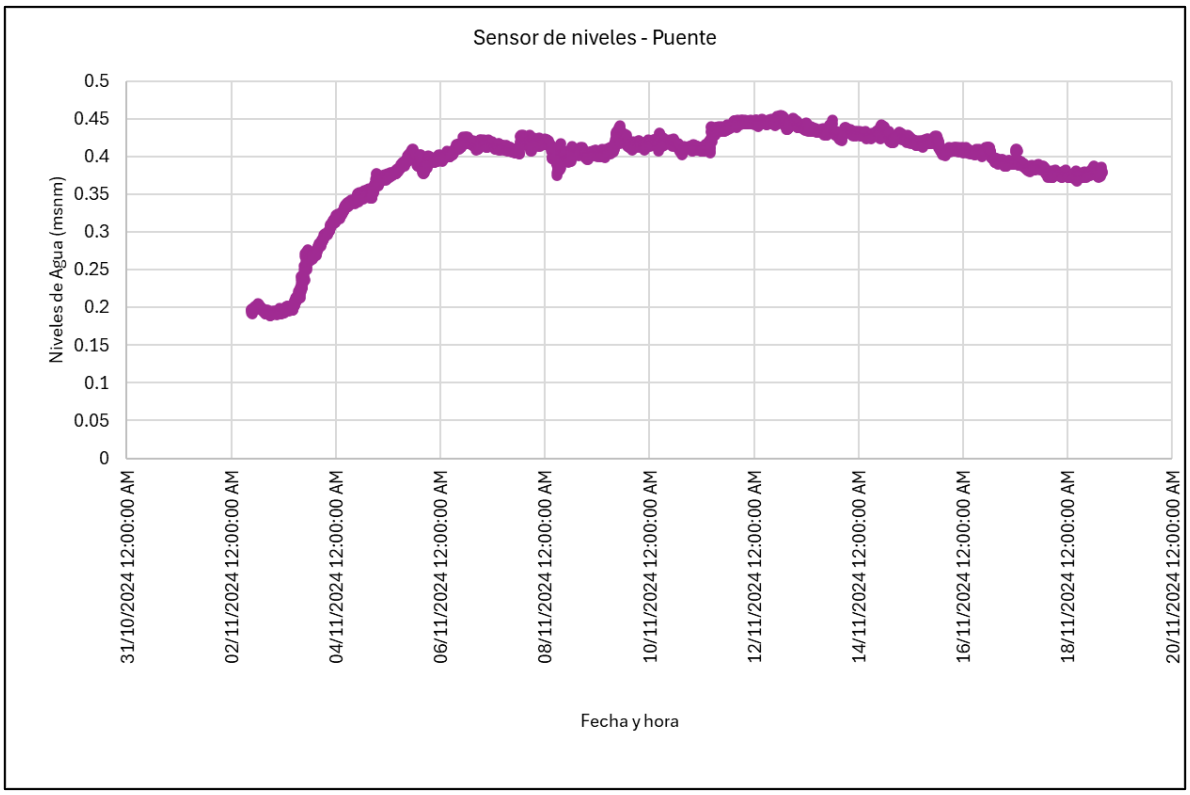


Figura 30. Registro de niveles del sensor en pila central del puente del Totumo en caño Amanzaguapo.
Fuente: Elaboración propia.

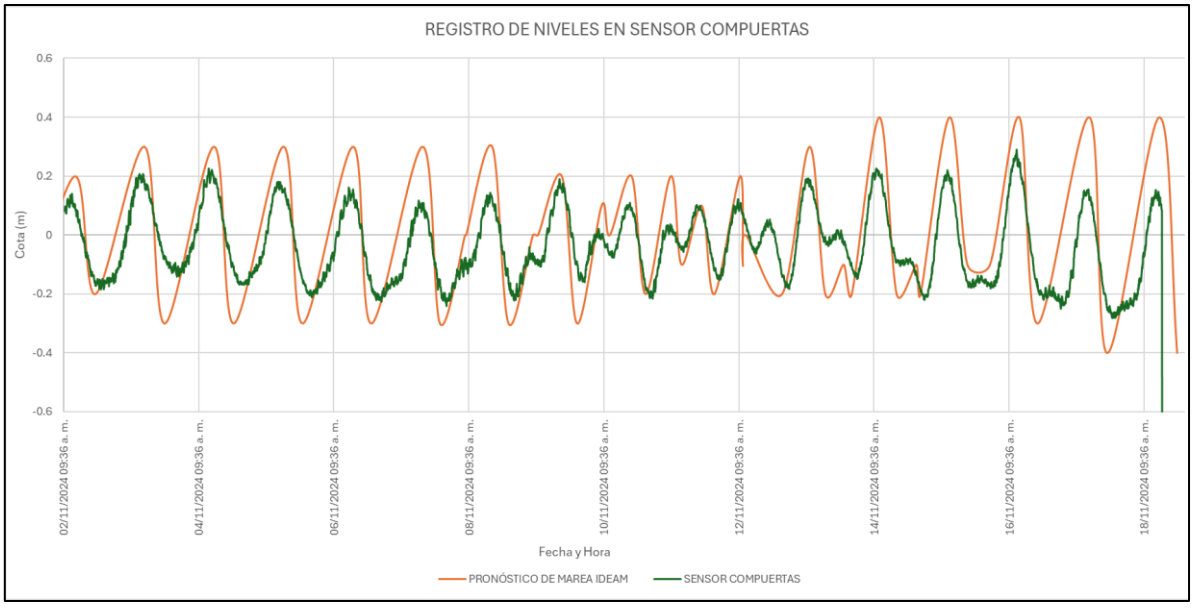


Figura 31. Registro de niveles del sensor aguas abajo de las compuertas de la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

5 Hidrología

5.1 Precipitación

El análisis de precipitación en la zona de localización de la ciénaga del Totumo se realizó con la información del día pluviométrico de las estaciones pluviométricas Galerazamba (14015010), Hibacharo (1410020), Bayunca (141010030) y Repelon (29037060) (Tabla 9). Para los registros disponibles en dichas estaciones la precipitación media multianual se encuentra entre 833.4 mm y 1170.1 mm. La precipitación media mensual multianual es menor en el mes de febrero y sus valores máximos se presentan en el mes de octubre, donde se estiman en promedio valores de hasta 246.2 mm (Bayunca) (Figura 32).

Los valores máximos mensuales multianuales registrados se encuentran entre 305.2 mm (Repelón) y 700.6 mm (Bayunca) ocurridos durante el mes de mayo y octubre respectivamente.

Tabla 9. Estaciones IDEAM utilizadas para el análisis hidrológico

Código	Nombre	Registros	Departamento	Municipio	Tecnología
14015010	Galerazamba	1979-2014	Bolívar	Santa Catalina	Automática con Telemetría
14010020	Hibacharo	1979-2023	Atlántico	Piojó	Convencional
14010030	Bayunca	1979-2023	Bolívar	Cartagena de Indias	Convencional
29037060	Repelón	1979-2019	Atlántico	Repelón	Automática con telemetría y convencional

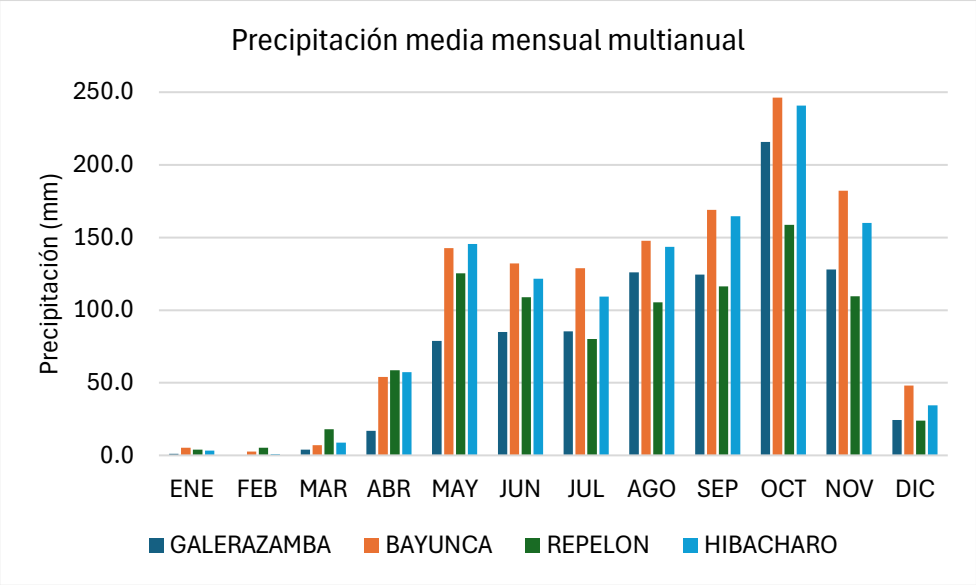


Figura 32. Precipitación media mensual multianual estaciones IDEAM

5.2 Modelo lluvia-escorrentía

La metodología de lluvia-escorrentía se empleó para la estimación de caudales pico para distintos escenarios o períodos de retorno en la cuenca. Este enfoque permite analizar la precipitación total que ocurre en un territorio, determinar el porcentaje que se infiltra y calcular la precipitación efectiva que genera la escorrentía superficial.

El procedimiento incluyó los siguientes componentes principales:

1. Análisis morfométrico de las cuencas hidrográficas, que permitió calcular los tiempos de concentración de las subcuencas.
2. Desarrollo del modelo lluvia-escorrentía mediante el uso del software HEC-HMS, el cual simuló los caudales asociados a diferentes períodos de retorno.

La estimación de los caudales pico se realizó utilizando una distribución temporal de la tormenta de diseño, basada en una tormenta tipo II según el método NRCS.

5.2.1 Trazado de cuencas hidrográfica

Para la delimitación de las cuencas hidrográficas correspondientes a las unidades hidrológicas objeto de estudio y la red de drenaje correspondiente, se emplearon los siguientes insumos:

- **Modelo de Elevación Digital (DEM):** Se utilizó un DEM con una resolución espacial de 30 metros, obtenido del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) como parte de la misión SRTM (2011) como se muestra en la Figura 33.
- **Red de Drenaje Prioritaria:** Se delinearon las líneas divisorias de cuenca con base en la red de drenaje cartografiada por el IGAC a escala 1:10,000, garantizando un nivel adecuado de detalle para el análisis.

A partir de estos insumos, se generó la delimitación de las subcuencas hidrográficas, como se ilustra en la Figura 34**.**

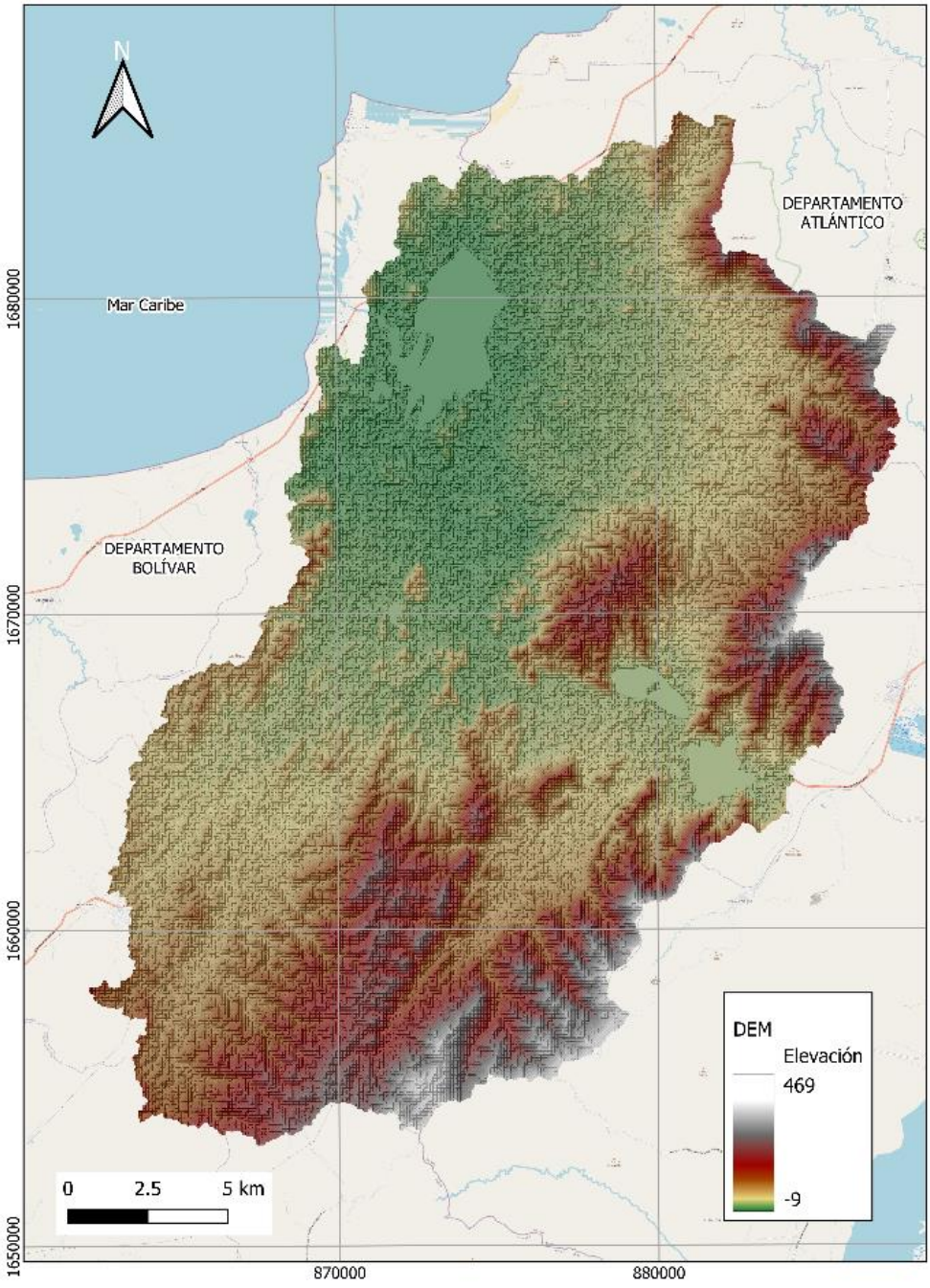


Figura 33. Modelo digital de elevación de la cuenca de la Ciénaga del Totumo.

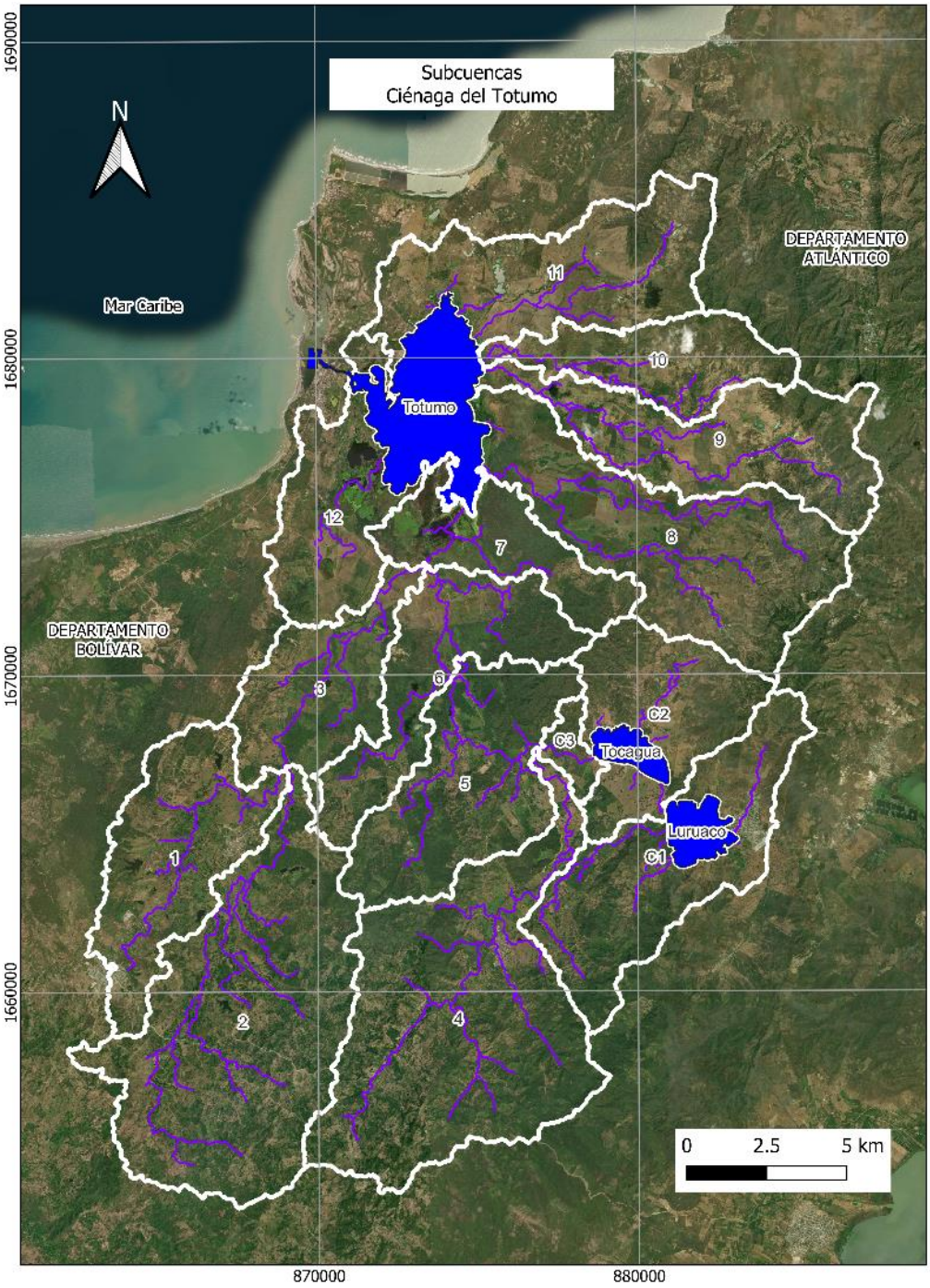


Figura 34. Subcuencas hidrográficas Ciénaga del Totumo.

5.2.2 Sistemas lénticos y lóticos

En el área de estudio se identificaron diversos sistemas de drenaje lótico, a partir de los mapas de drenaje sencillo contenidos en la cartografía base a escala 1:10.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Entre los principales cursos identificados se encuentran los arroyos Las Maravillas, arroyo Chiquito, arroyo Tumbacaballo-Ronco, arroyo Tamarindo-Tinajas, arroyo Mapaisero, arroyo Arena, arroyo Sabana Clemente, arroyo Caño Late, Sabana, Calabrisa, arroyo El Totumo, arroyo Roberto y arroyo Perdiz, además de otros drenajes menores sin nombre específico.
Asimismo, se reconocieron sistemas lénticos como las ciénagas de **Tocagua** y **Luruaco** ubicadas al sur de la cuenca, que representan elementos importantes dentro de la hidrología local.

Curvas de Almacenamiento
Las curvas de almacenamiento se utilizaron para modelar la capacidad de retención de las ciénagas y su relación con los niveles de agua. Estas curvas, que representan la relación entre la elevación del agua y el volumen almacenado, fueron fundamentales para la simulación hidrológica en el modelo HEC-HMS.

- **Ciénaga de Luruaco:** Su curva elevación-almacenamiento muestra un comportamiento característico de sistemas naturales en los cuales el volumen almacenado incrementa gradualmente con la elevación, indicando un área efectiva de almacenamiento amplio en su nivel medio.

- **Ciénaga de Tocagua:** La curva refleja una capacidad de almacenamiento menor comparada con Luruaco, con una dinámica similar en cuanto al incremento de volumen respecto a la elevación.

Estas curvas fueron obtenidas a partir de estudios realizados por la Universidad del Magdalena (UNIMAG) y la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA), cuyos resultados se muestran en la Figura 35.

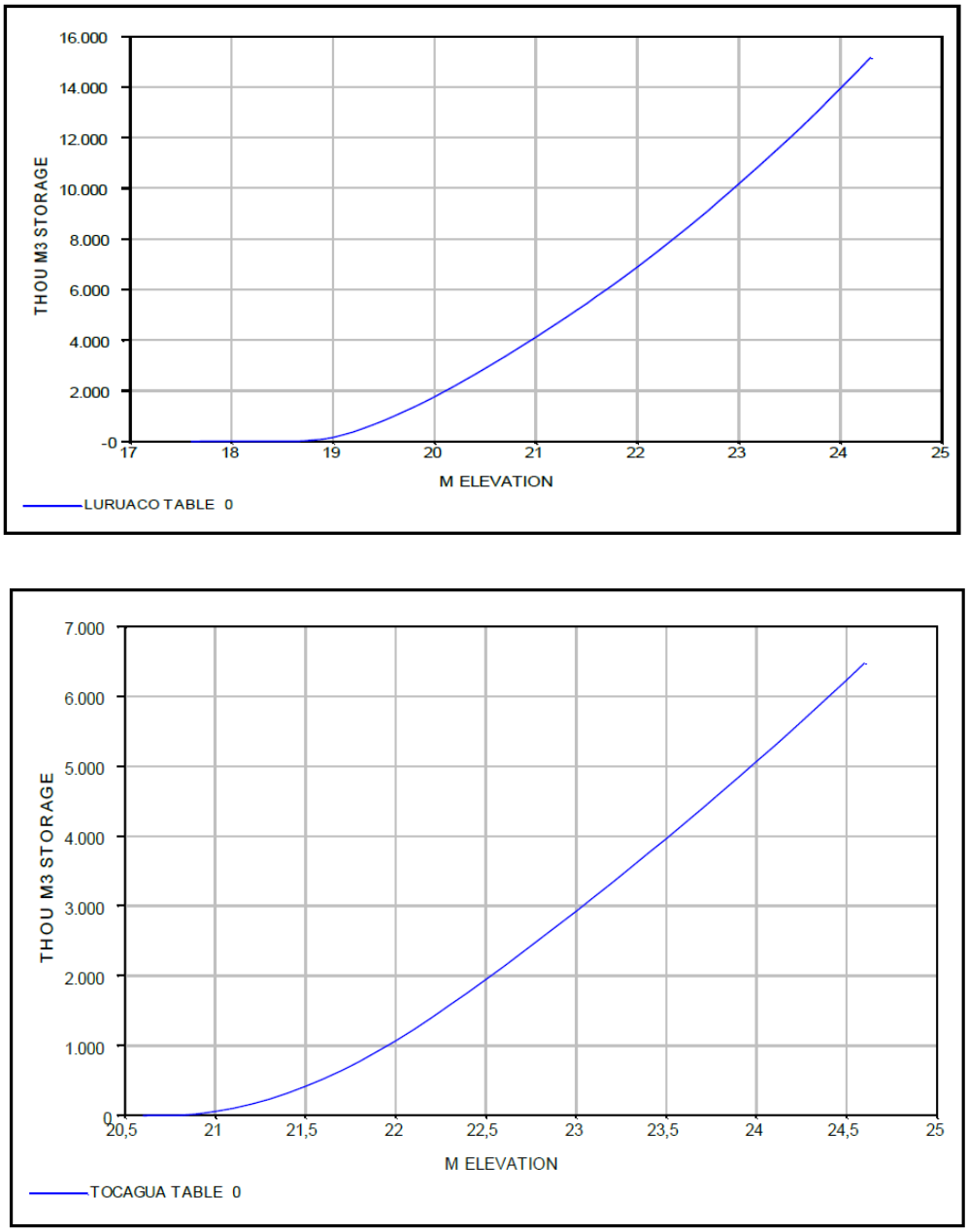


Figura 35. Curva Elevación-Almacenamiento de la ciénaga de Luruaco y Tocagua
Fuente: UNIMAG - CRA.

Las curvas sirvieron para establecer las condiciones iniciales de los cuerpos lénticos en el modelo hidrológico, permitiendo una representación más precisa de su comportamiento hidrodinámico ante eventos de precipitación y garantizando que los caudales simulados incluyeran la influencia de estos sistemas lénticos en la cuenca.

5.2.3 Caracterización morfométrica

Los parámetros morfométricos calculados para cada cuenca fueron los siguientes:

- Área de la cuenca
- Longitud del canal principal
- Longitud de la cuenca
- Elevación máxima y mínima del cauce principal
- Pendiente media de la cuenca y del canal principal

Estos parámetros describen las características físicas de las cuencas y su influencia en la dinámica hidrológica. Los resultados obtenidos para cada cuenca se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros Morfométricos de las Cuencas.

Elemento	Longitud del cauce (km)	Área (km2)	Elevación máxima cauce (m)	Elevación mínima cauce (m)	Diferencia de elevación (m)	Pendiente del cauce (m/m)	Longitud de la cuenca (km)	Pendiente media de la cuenca (m/m)
Subcuenca 01	13.2	29.6	51	23	28	0.0021	9.1	0.06
Subcuenca 02	20.3	65.7	152	23	129	0.006	13.6	0.11
Subcuenca 03	11.6	21.9	23	0	23	0.002	7.88	0.07
Subcuenca 04	21.1	64.8	105	20	85	0.004	14.2	0.19
Subcuenca 05	10.0	32.6	46	6	40	0.004	7.7	0.13
Subcuenca 06	12.4	25.6	22	0	22	0.002	9.22	0.08
Subcuenca 07	6.2	18.0	20	0	20	0.003	6	0.06
Subcuenca 08	16.6	46.0	78	1	77	0.005	11.76	0.09
Subcuenca 09	16.6	31.5	101	0	101	0.006	12.84	0.10
Subcuenca 10	12.5	18.2	51	1	50	0.004	9.86	0.08
Subcuenca 11	9.7	34.9	39	1	38	0.004	8.75	0.07
Subcuenca 12	6.4	22.2	5	1	4	0.001	5.79	0.05
Subcuenca C1	9.6	32.5	121	24	97	0.010	5.99	0.19
Subcuenca C2	3.9	23.6	76	21	55	0.014	3.67	0.15
Subcuenca C3	2.5	3.4	28	20	8	0.003	1.74	0.11

5.3 Método del NRCS (Natural Resources Conservation Service)

En este apartado se describe la metodología aplicada para la estimación y el análisis de caudales máximos, con énfasis en el método del Natural Resources Conservation Service (NRCS).

Hidrograma Unitario SCS

El hidrograma adimensional del SCS (Soil Conservation Service) es una metodología ampliamente utilizada en hidrología para simular el comportamiento del flujo superficial en una cuenca bajo condiciones específicas de lluvia. Este hidrograma unitario sintético se basa en parámetros como el tiempo de concentración y la precipitación efectiva, lo que lo hace adecuado para cuencas con información limitada.

Suposiciones del Método SCS:

1. La escorrentía es lineal respecto a la precipitación efectiva.
2. El hidrograma tiene un pico bien definido que depende del tiempo de concentración y de rezago.
3. Se puede adaptar a diferentes cuencas ajustando los parámetros del hidrograma.

Estudios sobre hidrogramas unitarios en diversas cuencas rurales han demostrado que el tiempo de rezago (T_l) se relaciona directamente con el tiempo de concentración (T_c) de la cuenca, según la expresión:
Donde:

$$T_l = 0.6 \cdot T_c$$

- **T_l**: Tiempo de rezago (horas).
- **T_c**: Tiempo de concentración (horas).

Esta relación es fundamental para parametrizar el hidrograma unitario y calcular tanto el caudal pico como la forma del hidrograma asociado a un evento de diseño.

En este estudio, se empleó el hidrograma SCS en combinación con las lluvias de diseño calculadas para diferentes períodos de retorno, considerando las características específicas de cada subcuenca (parámetros morfométricos y tiempos de concentración calculados).

5.3.1 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración (**Tc**) es un parámetro hidrológico esencial que representa el tiempo en el que toda la cuenca contribuye con el caudal. Este parámetro es clave para entender la respuesta hidrológica de la cuenca ante eventos de precipitación y se utiliza en diseños de infraestructura hidráulica, estimación de caudales máximos y modelación hidrológica.

Factores que influyen en el tiempo de concentración:

1. Dimensiones de la cuenca: Cuencas más grandes y largas presentan mayores tiempos de concentración.
2. Pendiente del terreno: Pendientes pronunciadas reducen el tiempo de concentración debido a flujos más rápidos.
3. Cobertura del suelo: Superficies impermeables aumentan la velocidad del flujo, mientras que una vegetación densa puede ralentizarlo.

4. Características del canal: La rugosidad, pendiente y geometría del canal principal también afectan el tiempo de concentración.

A continuación, se presentan diversas metodologías para estimar el tiempo de concentración (**Tc**):

Tabla 11. Formulaciones de tiempo de concentración.

PASSINI	$t_c = 0.085 \times \left(\frac{A^{0.3} L^{0.3}}{S^{0.5}}\right)$
AUSTRALIANO	$t_c = \frac{58L}{A^{0.1} S^{0.2}}$
GIANDOTTI	$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$
TEMEZ	$t_c = 0.28 \times \left(\frac{L}{\sqrt[4]{S}}\right)^{0.76}$
CUERPO DE INGENIEROS DE EE. UU.	$t_c = 0.1 \times \frac{L^{0.7}}{S^{0.1}}$
JOHNSTONE CROSS	$t_c = 2.6 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.5}$
SCS RANSER	$t_c = 0.947 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$
CLARK	$t_c = 0.335 \times \left(\frac{A}{S^{0.5}}\right)^{0.593}$
VEN TE CHOW	$t_c = 0.213 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.64}$
KIRPICH	$t_c = 0.06628 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$
WILLIAMS	$t_c = \frac{14.6}{60} \times \left(\frac{L}{A^{0.1} S^{0.2}}\right)$
DOOGE	$t_c = 0.3 \times \frac{A^{0.4}}{S^{0.1}}$

Metodología de Cálculo:

Se emplearon diversos métodos para estimar los tiempos de concentración. No obstante, algunos de ellos, como Clark y Dodge, fueron descartados por no ser aplicables a las características de la zona de estudio o por presentar resultados fuera de las bandas de desviación estándar.

El valor final del tiempo de concentración para cada subcuenca se calculó como el promedio de los métodos aplicables, seleccionando aquellos que se ajustaron a las bandas superior e inferior de la desviación estándar, garantizando así la representatividad de los resultados.

Los resultados de los tiempos de concentración estimados se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Resultados tiempos de concentración en horas.

Elemento	Passini	Australiano	Giandotti	Temez	Johnstone Cross	SCS Ranser	Ven Te Chow	Kirpich	Williams	Promedio (Horas)
Subcuenca 01	11.1	7.8	9.8	6.4	7.8	5.2	8.0	5.2	7.9	7.7
Subcuenca 02	9.2	8.9	6.9	7.2	7.4	4.7	7.4	4.7	8.9	7.3
Subcuenca 03	10.0	7.1	9.4	5.9	7.4	4.8	7.5	4.8	7.2	7.1
Subcuenca 04	11.7	10.2	8.7	8.1	8.4	5.8	8.8	5.8	10.2	8.6
Subcuenca 05	7.6	5.2	7.5	4.6	5.8	3.3	5.4	3.3	5.2	5.3
Subcuenca 06	11.3	7.7	10.3	6.3	7.9	5.3	8.1	5.3	7.7	7.8
Subcuenca 07	6.1	3.5	7.3	3.3	4.8	2.5	4.3	2.5	3.6	4.2
Subcuenca 08	9.1	8.0	7.4	6.6	7.2	4.6	7.2	4.5	8.0	7.0
Subcuenca 09	7.1	7.9	5.9	6.3	6.8	4.1	6.6	4.1	8.0	6.3
Subcuenca 10	6.8	6.8	6.3	5.4	6.5	3.9	6.3	3.9	6.9	5.9
Subcuenca 11	7.8	5.0	7.7	4.5	5.8	3.2	5.4	3.2	5.0	5.3
Subcuenca C1	15.1	5.0	17.8	4.7	7.4	4.7	7.4	4.7	5.0	8.0
Subcuenca C2	4.8	4.1	4.7	3.8	4.5	2.2	4.0	2.2	4.2	3.8
Subcuenca C3	2.8	1.6	4.3	1.8	2.7	1.0	2.0	1.0	1.6	2.1

Tiempo de Concentración con el Método SCS

El tiempo de rezago estimado mediante el método SCS tiene en cuenta las características morfométricas y de cobertura del suelo de la cuenca. La expresión utilizada es:

$$t_L = \frac{L_w^{0.8}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{1900\, S^{0.5}}$$ Soil Conservation Service (1986)

L_w = longitud de la cuenca de drenaje (ft).

CN = número de curva de la cuenca de drenaje.

S = pendiente promedio de la cuenca (%).

El número de curva (CN) es un parámetro hidrológico que representa la capacidad de infiltración del suelo y se utiliza para estimar la escorrentía superficial generada por una lluvia. Su valor depende del tipo de suelo, el uso del terreno y la cobertura vegetal, según la metodología del Soil Conservation Service (SCS). El CN varía entre 30 y 100: valores bajos indican mayor infiltración y menor escorrentía, mientras que valores altos reflejan suelos impermeables con mayor generación de escorrentía.

El tiempo de concentración se aproxima como $t_L/0.6$ para su uso en los cálculos del hidrograma unitario SCS.

Tabla 13. Resultados tiempos de concentración con formulación del SCS.

Elemento	Longitud del cauce (ft)	Pendiente de la cuenca (%)	Tl (min)	Tc (horas)
Subcuenca 01	43412.1	6.4	192	5.3
Subcuenca 02	66489.5	11.1	198	5.5
Subcuenca 03	37893.7	6.8	161	4.5
Subcuenca 04	69209.3	19.1	148	4.1
Subcuenca 05	32857.6	13.0	102	2.8
Subcuenca 06	40551.2	7.9	161	4.5
Subcuenca 07	20321.5	6.0	97	2.7
Subcuenca 08	54340.6	8.7	178	4.9
Subcuenca 09	54619.4	10.5	154	4.3
Subcuenca 10	40981.0	8.1	145	4.0
Subcuenca 11	31794.6	6.5	123	3.4
Subcuenca 12	21030.2	5.4	107	3.0
Subcuenca C1	31630.6	19.0	84	2.3
Subcuenca C2	12841.2	14.8	44	1.2
Subcuenca C3	8208.7	11.2	37	1.0

Finalmente, se adoptó el tiempo de concentración estimado por el método SCS debido a su concordancia con otros métodos y a su capacidad para considerar la cobertura del suelo, lo cual permite una representación más adecuada de la respuesta hidrológica en escenarios futuros, incorporando variables como el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) de la cuenca.

5.3.2 Información de precipitación

Para analizar el comportamiento de las lluvias en el área de estudio, se recurrió a la base de datos hidro climáticas de estaciones cercanas que cuentan con información de precipitación acumulada en 24 horas. Estas estaciones se seleccionaron por su proximidad y por la disponibilidad de registros históricos confiables y se muestran en la Tabla 9.

La Figura 36 a la Figura 39 presentan las curvas de probabilidad acumulada ajustadas a distribuciones lognormal y normal, que representan la distribución estadística de la precipitación máxima diaria anual para las estaciones seleccionadas. Estas gráficas permiten estimar la precipitación esperada para diferentes períodos de retorno (e.g., 2, 5, 10 años). La Tabla 14 resume los parámetros estadísticos ajustados para cada estación, así como los valores p obtenidos en las pruebas de bondad de ajuste.

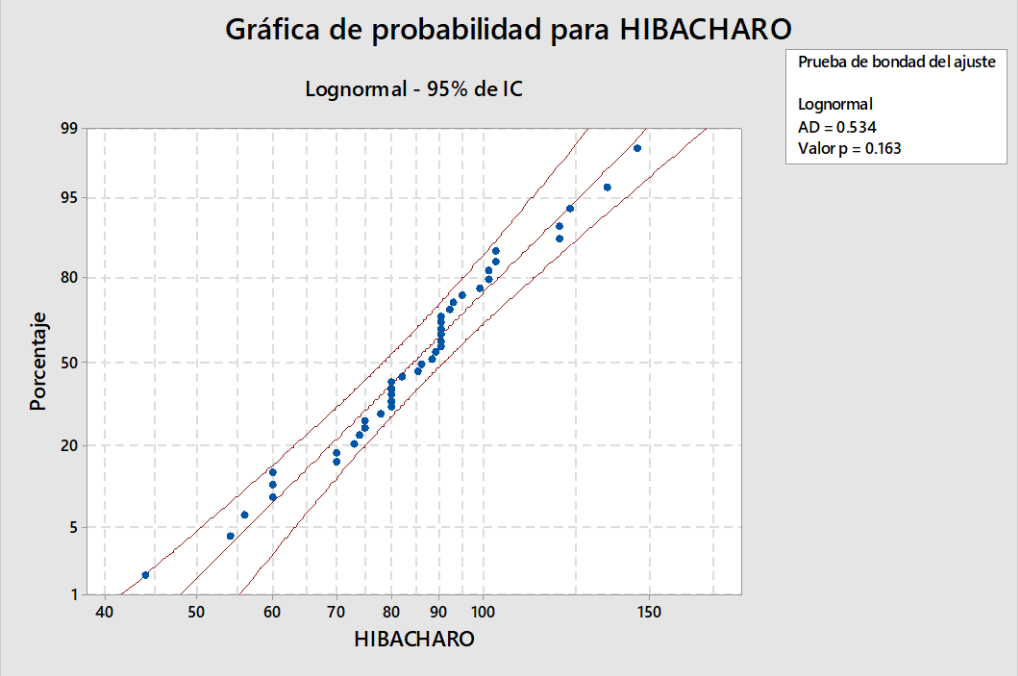


Figura 36. Grafica de probabilidad para estación Hibáracho.

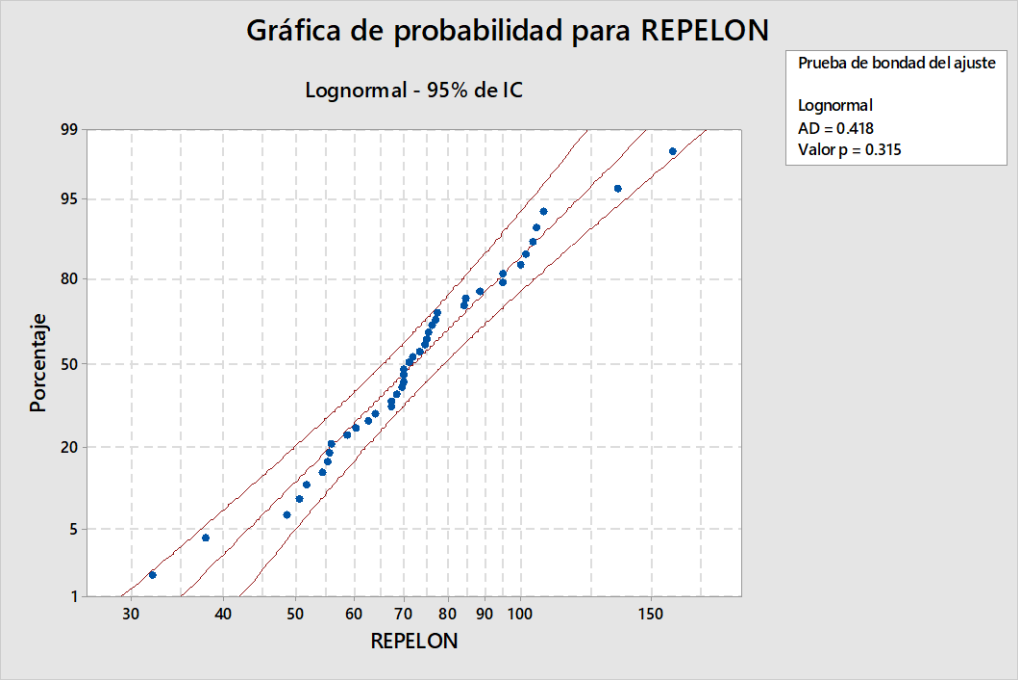


Figura 37. Grafica de probabilidad para estación Repelón.

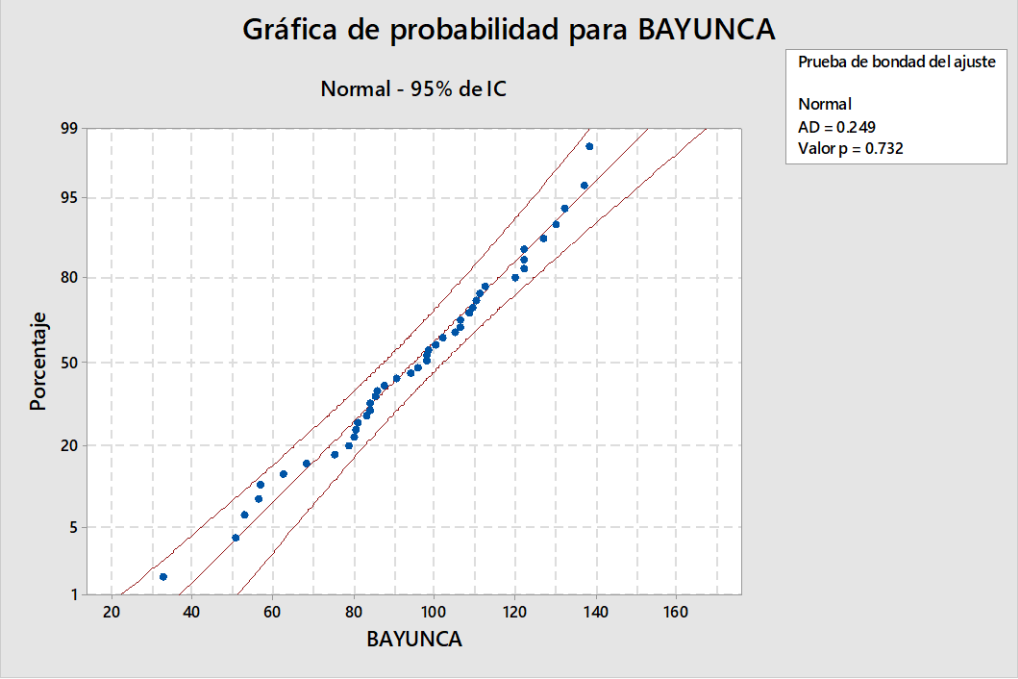


Figura 38. Grafica de probabilidad para estación Bayunca.

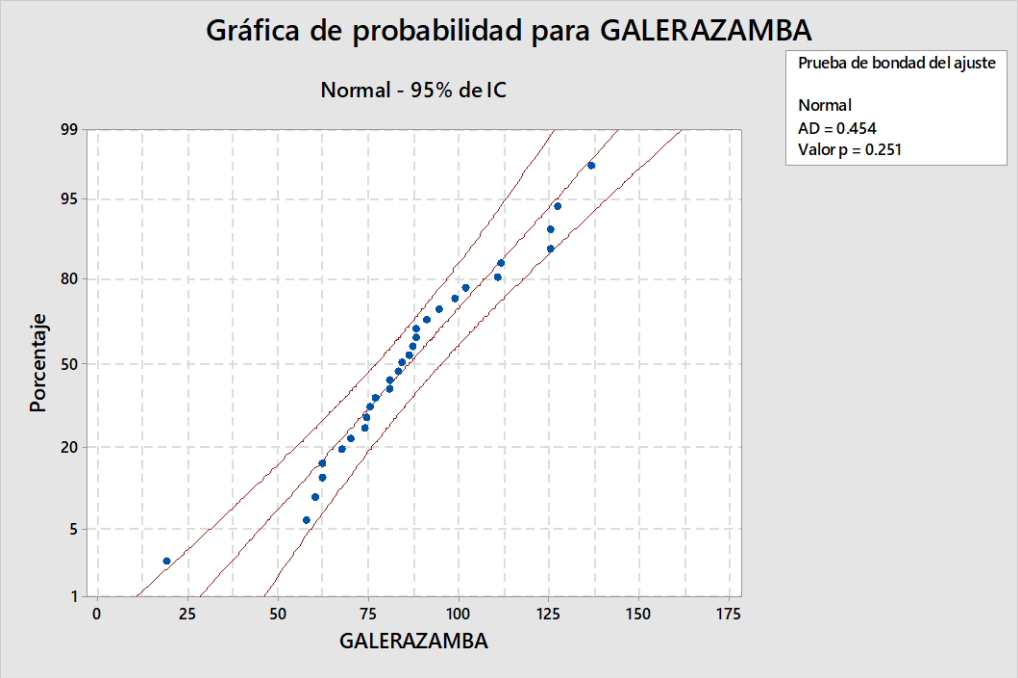


Figura 39. Grafica de probabilidad para estación Galerazamba.

Tabla 14. Resultados del análisis estadístico para la precipitación máxima diaria anual por estación.

Estación	Distribución	Media	Desv. Est.	Valor p
HIBACHARO	Lognormal	4.436	0.2435	0.163
REPELON	Lognormal	4.276	0.3101	0.315
BAYUNCA	Normal	94.83	24.9	0.732
GALERAZAMBA	Normal	86.11	24.82	0.251

Finalmente, la Tabla 15 presenta los valores de precipitación máxima diaria anual (en mm) calculados para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Los datos se basan en el análisis estadístico de las series históricas de las estaciones seleccionadas.

Tabla 15. Precipitación en 24 horas para diferentes periodos de retorno.

Precipitación diaria máxima anual (mm)				
T(años)	**HIBACHARO**	**REPELON**	**BAYUNCA**	**GALERAZAMBA**
2	84.4	72	94.8	86.1
5	103.7	93.4	115.8	107.0
10	115.4	107.1	126.7	117.9
25	129.3	123.9	138.4	129.6
50	139.2	136.1	146	137.1
100	148.8	148.1	152.8	143.9

Polígonos de Thiessen

El método de los polígonos de Thiessen fue empleado para ponderar la contribución de cada estación al promedio regional de precipitación en el área de estudio. Esta metodología consiste en dividir el espacio geográfico en polígonos, asignando a cada uno de ellos la influencia exclusiva de una estación meteorológica, de manera que los puntos dentro de un polígono estén más cercanos a su estación correspondiente que a cualquier otra.

Para la generación de los polígonos, se utilizaron las coordenadas geográficas de las estaciones listadas en la Tabla 9. Posteriormente, se empleó las herramientas de QGIS para calcular las áreas de influencia de cada estación. La Figura 40 ilustra la distribución espacial de los polígonos en el área de estudio.

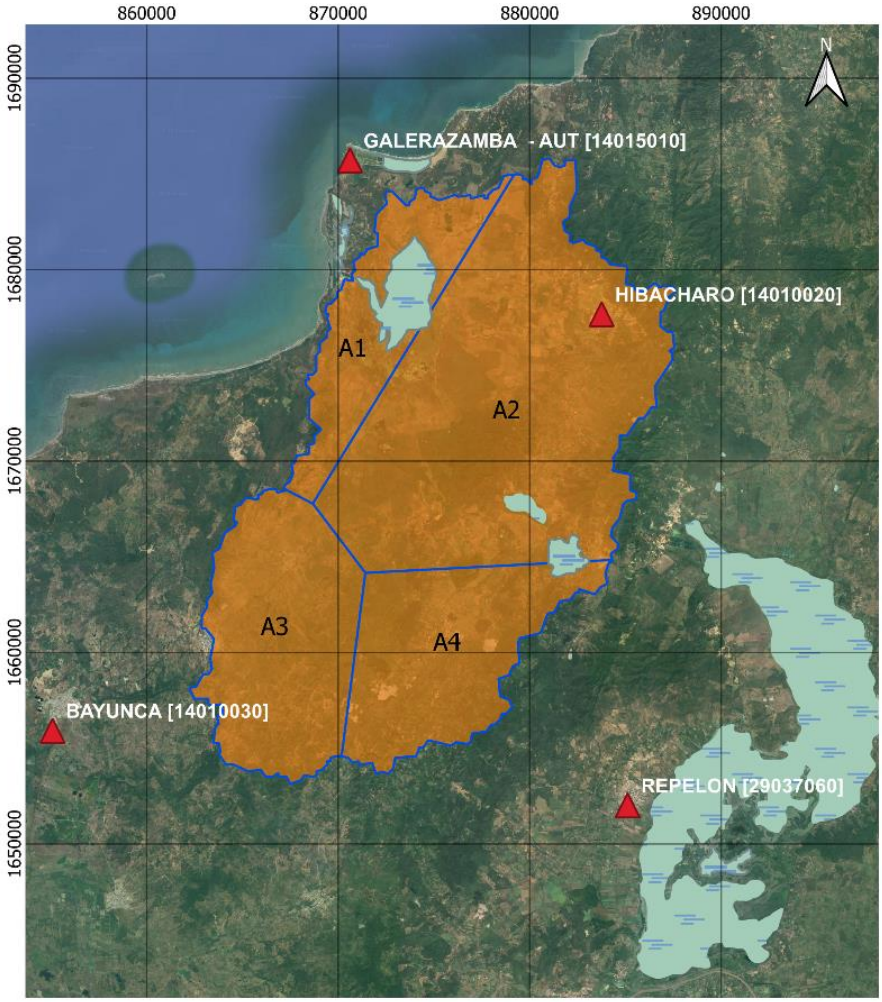


Figura 40. Polígonos de Thiessen para la cuenca de la Ciénaga del Totumo.

Isoyetas

El análisis de isoyetas permite representar espacialmente la distribución de la precipitación en la cuenca de la Ciénaga del Totumo. Estas líneas de igual precipitación se generan a partir de los datos históricos de las estaciones meteorológicas y proporcionan una herramienta clave para evaluar la variabilidad espacial de la lluvia en el área de estudio.

Para la construcción del mapa de isoyetas, se emplearon los valores de precipitación total anual registrados en las estaciones meteorológicas listadas en la Tabla 16. La interpolación de estos valores se realizó mediante técnicas geoespaciales en QGIS, utilizando métodos como la interpolación de Spline, los cuales permiten estimar la precipitación en puntos donde no hay mediciones directas.

Tabla 16. Precipitación total anual para cada estación en mm.

AÑO	HIBARACHO	REPELON	BAYUNCA	GALERAZAMBA
1979	1099	1266.7	2034	1198.4
1980	1164	824.7	978.3	679.8
1981	1195	1028.2	1559.1	1334.7
1982	1033	728.6	796.9	684.4
1984	1181.5	883.9	1285	812.8
1985	1198.5	848.3	909.4	616.7
1999	920	1075.7	1971.8	1071
2000	1171	581.4	867.1	807.8
2001	921	863.7	1125.7	636.5
2002	1144	510.6	780.1	503.8
2005	1474	989	1159.7	869.2
2006	1286	916.9	1422.8	618.8
2007	1599	992.7	1609	1258.4
2008	1736	1074.6	1208.5	1121.3
2009	966	752.6	992.4	504.7
2010	2333	1466	2286.3	1846.1
2011	1928	905.8	1709.9	1268.6
2012	1221	858.7	1333.7	568.8
2013	893	1091.2	1022.1	772.2
Promedio	**1287.5**	**929.4**	**1318.5**	**903.9**

La Figura 41 presenta la distribución espacial de las isoyetas, donde se puede observar la variación de la precipitación en la cuenca de la Ciénaga del Totumo. En términos generales, se identifican zonas con mayor acumulación de lluvia en las áreas más cercanas a la estación de Hibáracho, mientras que las estaciones de Repelón y Galerazamba registran valores menores de precipitación anual.

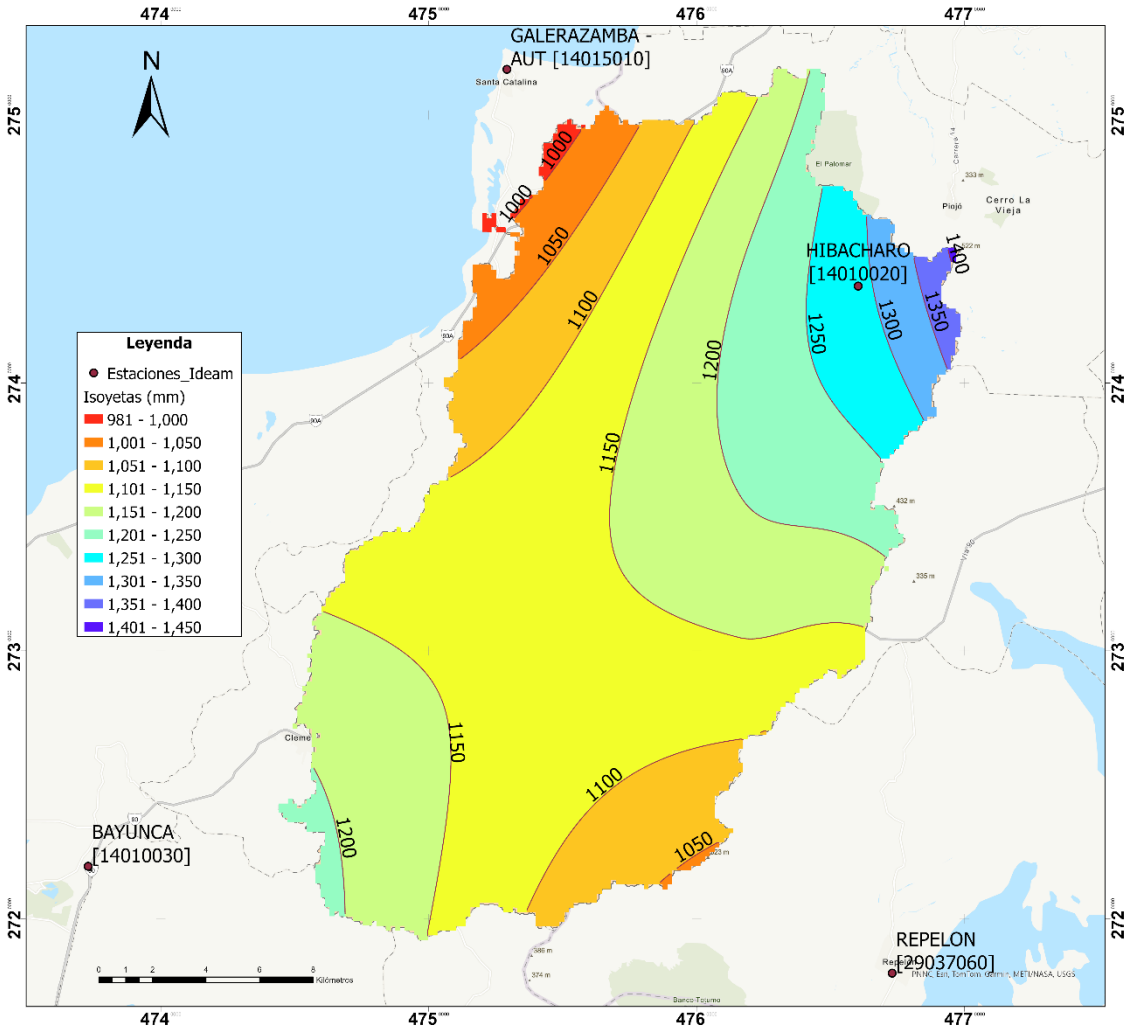


Figura 41. Isoyetas de precipitación anual promedio para la cuenca de la Ciénaga del Totumo.

5.3.3 Tormenta de diseño

La tormenta de diseño permite simular la magnitud de la precipitación durante un evento crítico o específico. Esta simulación permite considerar el comportamiento hidrológico de una cuenca bajo escenarios extremos, como los asociados a tormentas severas o eventos de lluvia intensiva.

Tormenta Tipo II

La Tormenta Tipo II, definida por el Soil Conservation Service (SCS, 1975), es una distribución temporal de lluvia diseñada específicamente para representar eventos intensos de precipitación en regiones caracterizadas por climas húmedos. Esta tormenta se caracteriza por concentrar la mayor

parte de la precipitación en un corto periodo, lo que genera altos volúmenes de escorrentía en un tiempo reducido.

Esta distribución es ampliamente utilizada en el diseño hidrológico e hidráulico, especialmente para modelar el comportamiento de cuencas pequeñas y medianas que responden rápidamente a las lluvias. La forma adimensional de la tormenta facilita su adaptación a diferentes intensidades de precipitación y períodos de retorno. La Tormenta Tipo II representa adecuadamente las características típicas de la lluvia para el departamento del Atlántico.

La implementación de esta tormenta en el modelo hidrológico se realiza considerando los datos históricos de precipitación máxima diaria y los tiempos de concentración previamente estimados para las subcuencas. Esto permite calcular la intensidad de la lluvia y su distribución a lo largo del tiempo, insumo indispensable para obtener el hidrograma resultante del escurrimiento superficial.
En la Figura 42 se presenta la distribución típica de una Tormenta Tipo II, la cual se adapta a las condiciones particulares de la zona de estudio para estimar los caudales máximos.

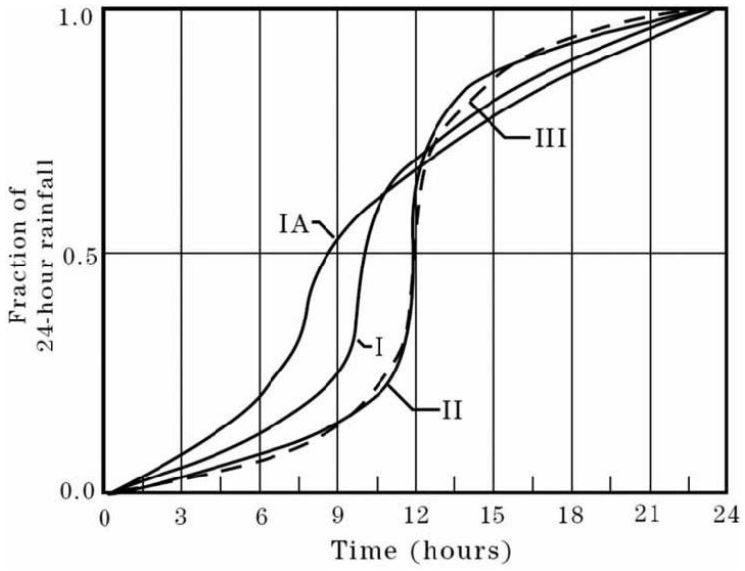


Figura 42. Distribución de tormenta.
Fuente: HEC-HMS

Cálculo de Precipitación Ponderada

Utilizando los polígonos de Thiessen previamente calculados, se determinó la precipitación ponderada para cada subcuenca, teniendo en cuenta los pesos asignados a las cuatro estaciones meteorológicas: HIBARACHO, REPELÓN, BAYUNCA y GALERAZAMBA.

La tabla a continuación muestra los pesos correspondientes a cada estación y la precipitación asociada a cada período de retorno (Tr) evaluado:

Tabla 17. Pesos para cada estación y precipitación ponderada calculada en mm.

	Pesos				***Tr (años)***					
Elemento	**HIBARACHO**	**REPELON**	**BAYUNCA**	**GALERAZAMBA**	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
Subcuenca 01	0%	0%	100%	0%	94.8	115.8	126.7	138.4	146.0	152.8
Subcuenca 02	0%	1%	98%	0%	94.5	115.5	126.4	138.2	145.8	152.7
Subcuenca 03	58%	0%	9%	33%	85.9	105.9	117.3	130.3	139.2	147.6
Subcuenca 04	4%	94%	2%	0%	73.0	94.3	107.8	124.4	136.4	148.2
Subcuenca 05	84%	14%	2%	0%	83.0	102.6	114.5	128.8	139.0	148.8
Subcuenca 06	97%	0%	3%	0%	84.7	104.1	115.8	129.6	139.5	148.9
Subcuenca 07	89%	0%	0%	11%	84.6	104.1	115.7	129.3	139.0	148.2
Subcuenca 08	99%	0%	0%	1%	84.4	103.7	115.4	129.3	139.2	148.8
Subcuenca 09	98%	0%	0%	2%	84.4	103.8	115.4	129.3	139.2	148.7
Subcuenca 10	96%	0%	0%	4%	84.5	103.8	115.5	129.3	139.2	148.6
Subcuenca 11	51%	0%	0%	49%	85.2	105.3	116.6	129.4	138.2	146.4
Subcuenca 12	1%	0%	0%	99%	86.1	107.0	117.9	129.6	137.1	143.9
Subcuenca C1	34%	66%	0%	0%	76.2	96.9	109.9	125.7	137.2	148.3
Subcuenca C2	100%	0%	0%	0%	84.4	103.7	115.4	129.3	139.2	148.8
Subcuenca C3	100%	0%	0%	0%	84.4	103.7	115.4	129.3	139.2	148.8

Estos valores de precipitación ponderada constituyen insumos fundamentales para el desarrollo del modelo lluvia-escorrentía y la posterior estimación de caudales máximos.

5.3.4 Estimación del número de curva CN

El número de curva (CN) es un parámetro clave en el modelo lluvia-escorrentía que permite estimar la escorrentía superficial generada por una lluvia. Este valor se calcula considerando la humedad antecedente normal (CN II) y cruzando el grupo hidrológico asignado a los suelos con las coberturas terrestres de la zona de estudio. Los valores de referencia se basan en la metodología del Soil Conservation Service (SCS, 1975).

Metodología

1. **Fuente de datos**:
    - Se utilizó el mapa de coberturas terrestres a Nivel 3, desarrollado por el IDEAM bajo la metodología Corine Land Cover, como insumo principal. Este mapa fue obtenido de la base de datos de uso libre del IGAC e IDEAM que se observa en la Figura 43.
    - Además, se incorporó el mapa de unidades cartográficas del suelo (UCS), proporcionado por el Servicio Geológico Colombiano.

2. **Clasificación del suelo**:
    - Cada unidad de suelo fue clasificada en un grupo hidrológico (A, B, C o D), con base en su descripción litológica.
    - Los grupos hidrológicos representan las características de infiltración de los suelos, siendo **A** el de mayor capacidad de infiltración y **D** el de menor capacidad.

3. **Reclasificación de coberturas terrestres**:
    - Se realizó un cruce entre la cobertura del suelo y la litología, asignando categorías según la metodología del SCS. Esto permitió determinar los valores de referencia requeridos para estimar el CN.

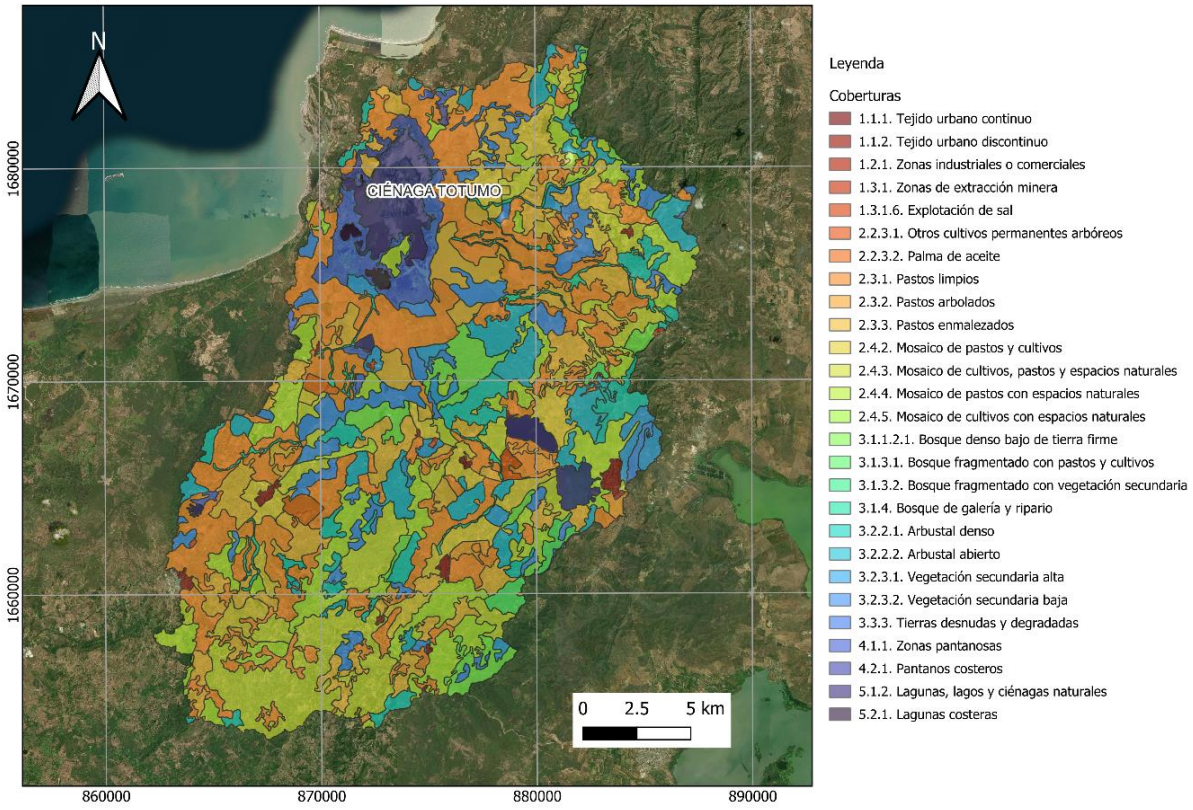


Figura 43. Mapa de cobertura de suelo según clasificación Corine Land Cover.
Fuente: IDEAM, 2018

En la siguiente tabla se detallan los valores de número de curva (CN) asignados a cada subcuenca, obtenidos tras el cruce de información entre la cobertura del suelo y las unidades cartográficas de suelo (UCS). Estos valores son fundamentales para la estimación de la escorrentía superficial en cada subcuenca.

Tabla 18. Números de curva por subcuencas

Subcuenca	CN
Subcuenca 01	75.2
Subcuenca 02	76.2
Subcuenca 03	76.5
Subcuenca 04	78.3
Subcuenca 05	77.0
Subcuenca 06	75.8
Subcuenca 07	78.9
Subcuenca 08	78.7
Subcuenca 09	80.7
Subcuenca 10	79.2
Subcuenca 11	81.7
Subcuenca 12	78.4
Subcuenca C1	75.9
Subcuenca C2	78.2
Subcuenca C3	76.5

Los valores obtenidos corresponden aproximadamente a una combinación de bosques, pastizales y áreas de pastoreo con cobertura de regular a buena, sobre suelos de tipo C, que es arena-limosa-arcillosa. Estos valores de CN fueron posteriormente calibrados con base en las simulaciones con el modelo HEC-HMS.

5.4 Modelo en HEC-HMS

El modelo hidrológico se implementó en la plataforma HEC-HMS, una herramienta desarrollada por el Hydrologic Engineering Center que permite simular la respuesta hidrológica de cuencas hidrográficas ante eventos de precipitación. Esta herramienta facilita la representación de las características físicas y dinámicas de la cuenca mediante un entorno visual interactivo que incluye un mapa detallado en la pantalla del computador.

La interfaz de HEC-HMS permite acceder a los parámetros de cada subcuenca, los cuales se configuraron utilizando los valores estimados previamente en este documento. Entre estos parámetros se incluyen:

- Tiempos de concentración
- Números de curva (CN)

- Distribución temporal de la precipitación (Tormenta Tipo II)
- Características geomorfológicas de la cuenca
- Curvas de almacenamiento de Ciénagas.

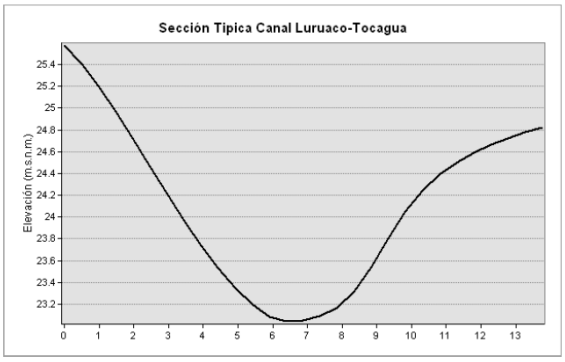
Para los cuerpos lénticos se establecieron niveles iniciales según mediciones de estudios previos realizados por la Universidad del Magdalena y la Corporación Autónoma Regional del Atlántico:

- **Ciénaga de Luruaco:** nivel inicial de 23.85 m.
- **Ciénaga de Tocagua:** nivel inicial de 23.3 m.

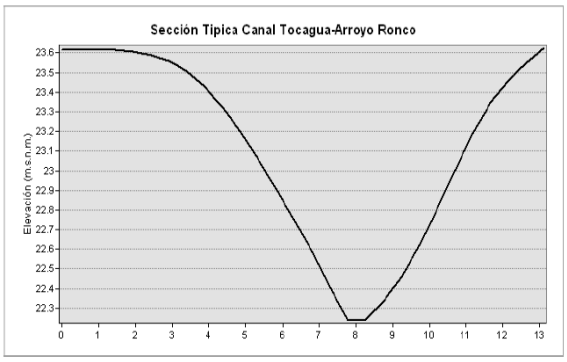
En relación con los canales que conectan las ciénagas (Luruaco-Tocagua y Tocagua con el sistema hídrico de la Ciénaga del Totumo), se utilizaron secciones típicas documentadas en los estudios previamente citados, cuya información fue corroborada mediante visitas de campo. Todas las simulaciones consideraron un coeficiente de rugosidad de n = 0.08, correspondiente a terrenos naturales en tierra con vegetación abundante.







Sección típica canal Luruaco-Tocagua



Sección típica canal Tocagua-Arroyo Ronco

Figura 44. Canales Luruaco-Tocagua y Tocagua Salida.
Fuente: Propia y UNIMAG-CRA.

La Figura 45 presenta el modelo construido en HEC-HMS para la cuenca de la Ciénaga del Totumo, mostrando la delimitación de las subcuencas, las conexiones hidráulicas y los puntos de salida utilizados para la estimación de caudales.

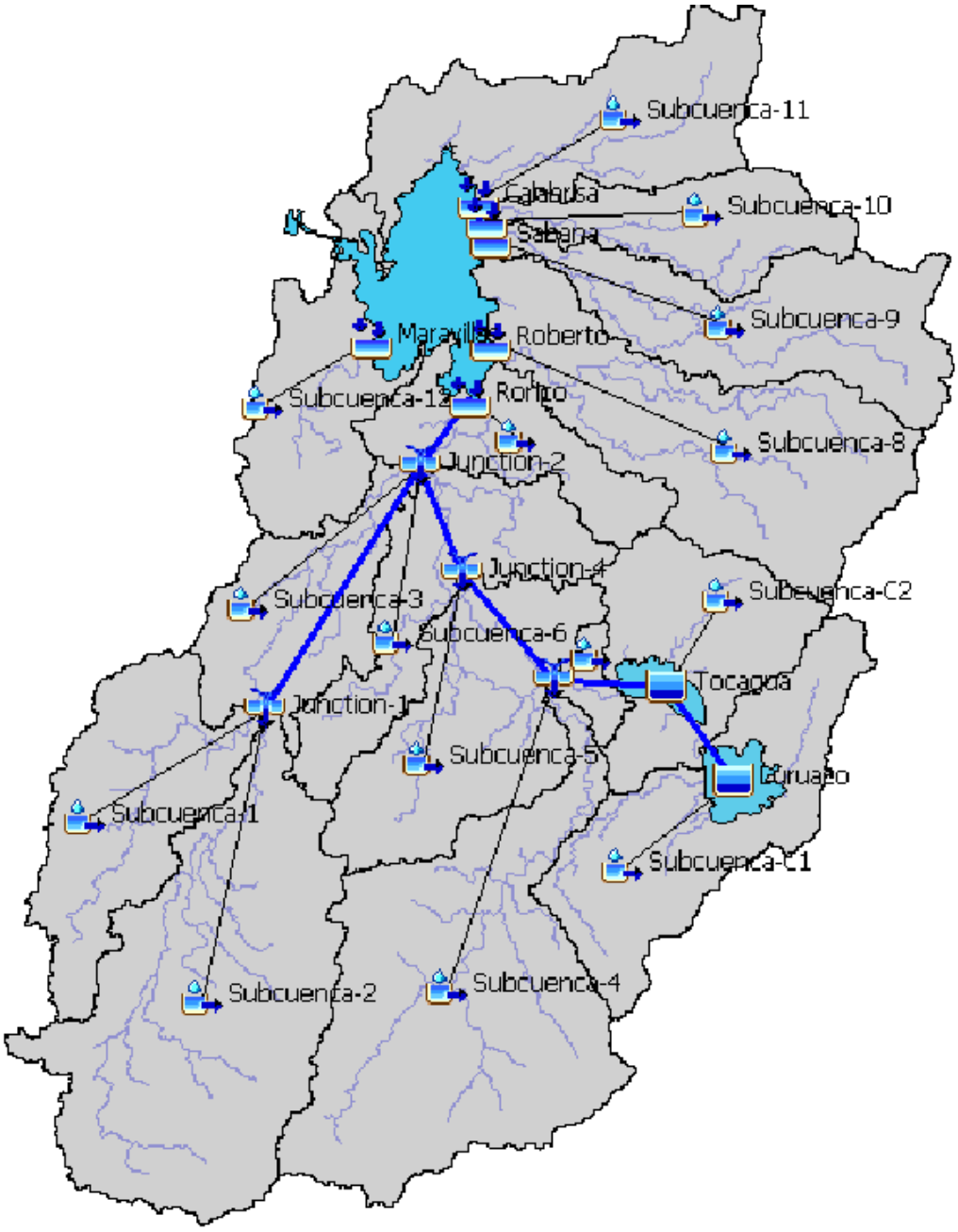


Figura 45. Modelo en HEC-HMS de cuenca de la Ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia

5.4.1 Calibración Hidrológica

Para la calibración hidrológica se emplearon los datos de precipitación registrados en la estación HIBACHARO del IDEAM. Estos datos fueron correlacionados con los registros de las demás estaciones de la cuenca como se muestra en la Figura 46, lo que permitió construir una tormenta representativa. Esta tormenta fue utilizada como insumo para simular la respuesta hidrológica de la cuenca mediante el modelo HEC-HMS.

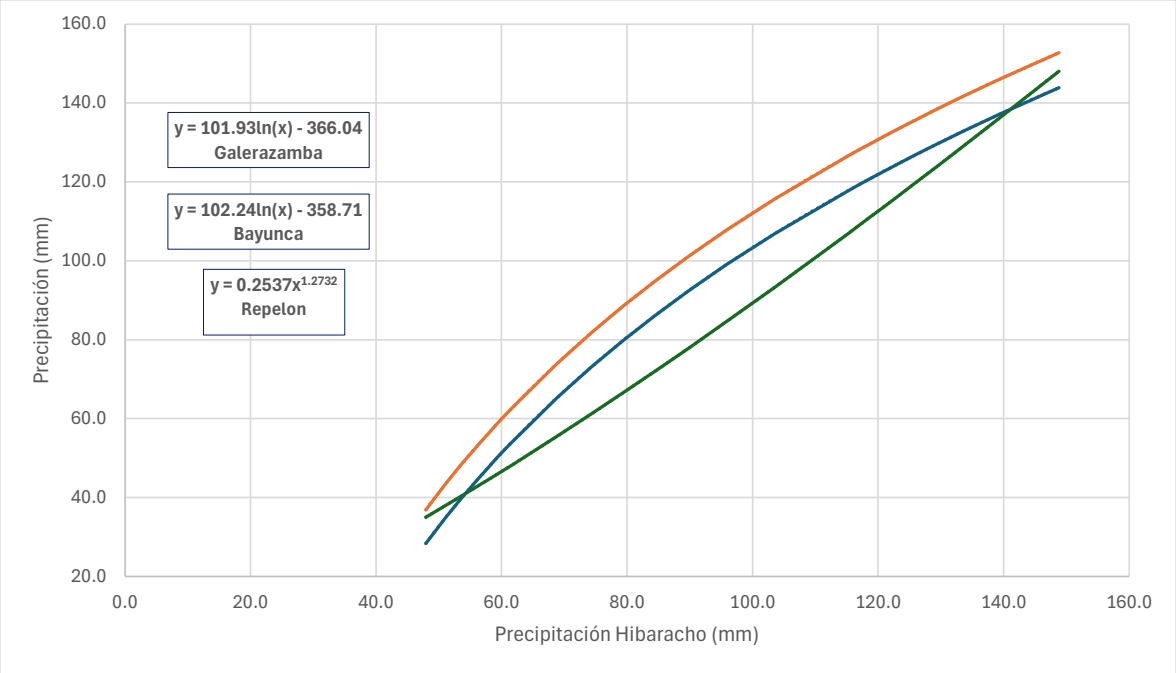


Figura 46. Correlaciones entre precipitación de estaciones.

Adicionalmente, se contó con mediciones de nivel proporcionadas por una estación propia instalada en la Ciénaga del Totumo. Esto permitió analizar tanto la precipitación sobre la cuenca como su respuesta hidrológica, evidenciada en el aumento del nivel en la ciénaga, como se ilustra en la Figura 47.

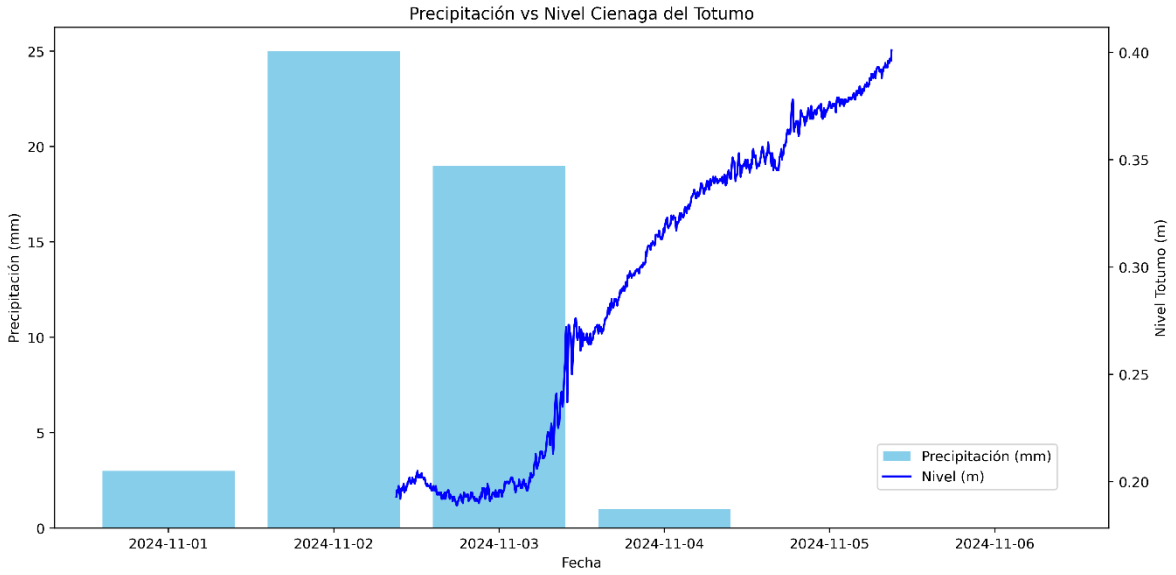


Figura 47. Precipitación vs Nivel en Ciénaga del Totumo.

Como parte del proceso de verificación, se comparó el volumen generado por el modelo HEC-HMS con el incremento de almacenamiento registrado en la Ciénaga del Totumo, utilizando su curva de almacenamiento, mostrada en la Figura 48. Esta comparación permitió calibrar el Número de Curva (CN) de la cuenca. Los valores de CN resultantes se presentan en la Tabla 19 .

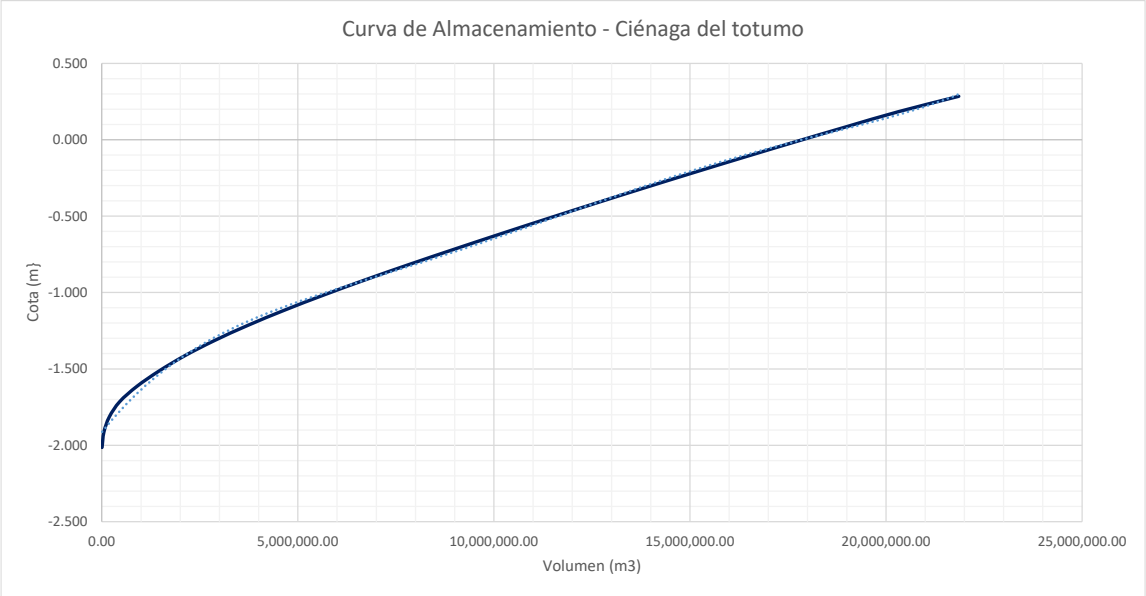


Figura 48. Curva de almacenamiento Ciénaga del Totumo.

Tabla 19. Números de curva por subcuencas calibrados.

Subcuenca	CN	CN Calibrados
Subcuenca 01	75.2	72.6
Subcuenca 02	76.2	73.6
Subcuenca 03	76.5	73.8
Subcuenca 04	78.3	75.6
Subcuenca 05	77.0	74.4
Subcuenca 06	75.8	73.2
Subcuenca 07	78.9	76.2
Subcuenca 08	78.7	76.0
Subcuenca 09	80.7	77.9
Subcuenca 10	79.2	76.5
Subcuenca 11	81.7	78.9
Subcuenca 12	78.4	75.7
Subcuenca C1	75.9	73.4
Subcuenca C2	78.2	75.5
Subcuenca C3	76.5	73.9

El error reportado (0.77%) indica una alta consistencia entre el modelo hidrológico y los datos observados en campo, lo que valida la metodología empleada para la calibración del modelo.

Tabla 20. Calibración de CN de la cuenca y error reportado.

Volumen Curva de Almacenamiento (Millones m^3)	2.00
Volumen Calculado HEC-HMS (Millones m^3)	1.98
Error	0.77%

5.4.2 Resultados Modelo Hidrológico

La Figura 49 presenta los resultados obtenidos para la Subcuenca-12 durante la simulación hidrológica correspondiente a la corrida "Tr=2 y 100 años". El análisis considera la precipitación y el flujo de salida, permitiendo evaluar la respuesta hidrológica de la subcuenca frente al evento de lluvia modelado.

- **Precipitación (A)**: Se registra un evento de precipitación de alta intensidad durante las primeras horas del tiempo de cálculo, con un rápido incremento y disminución en la

profundidad (mm), característico de una tormenta Tipo II. El área en rojo refleja la infiltración, atribuida a la alta permeabilidad de la cuenca debido a su cobertura natural.

- **Flujo de salida (B)**: La respuesta de escorrentía superficial muestra un pico máximo de 21 m³/s en las horas posteriores a la precipitación, momento en que el suelo alcanza su saturación y comienza la precipitación efectiva. Posteriormente, el flujo disminuye de manera progresiva, reflejando la finalización del evento de precipitación y el proceso de recesión del caudal.

Se obtuvieron resultados similares para las demás subcuencas como se muestra en los Anexos.

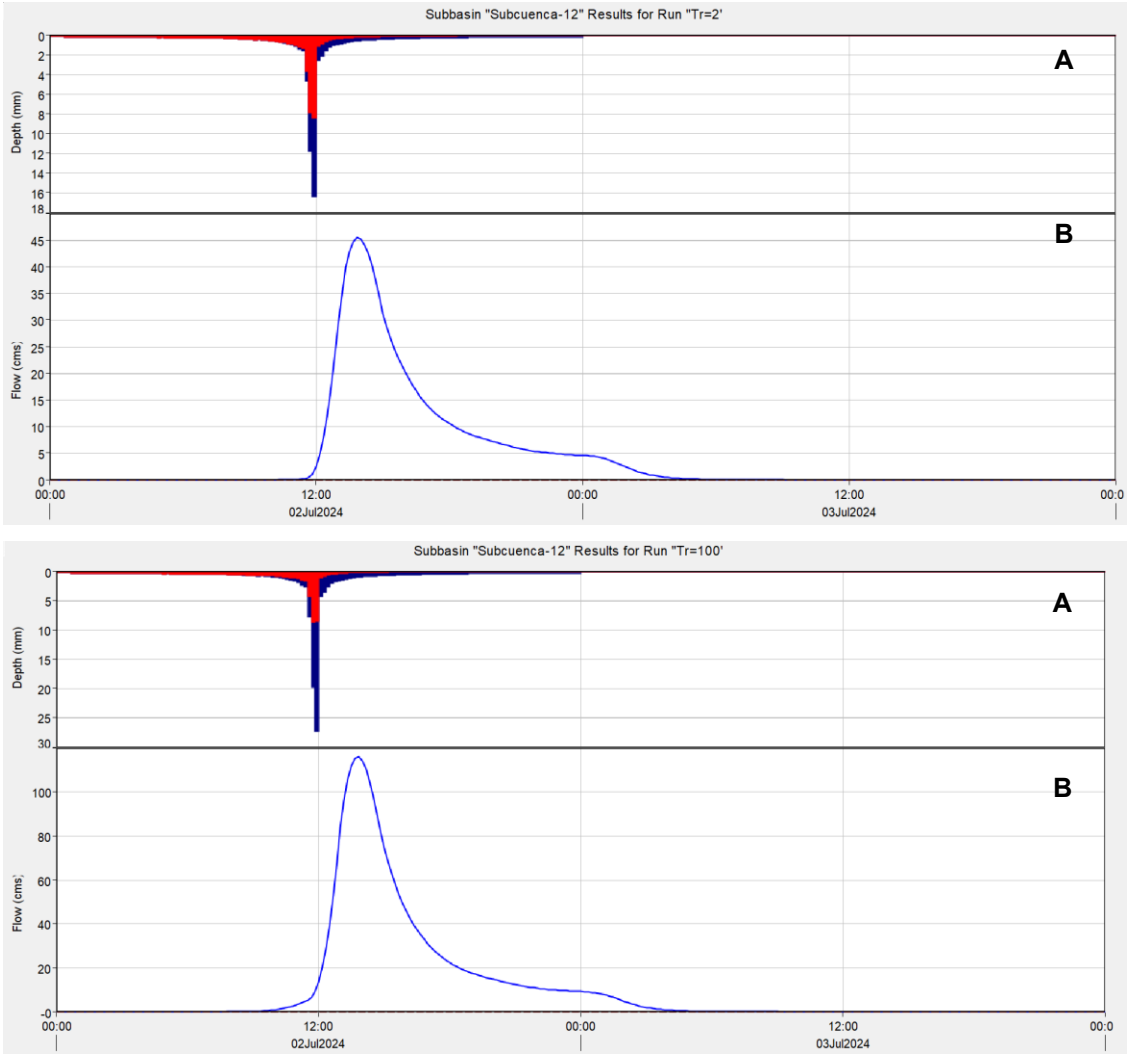


Figura 49. Resultados precipitación y escorrentía Subcuenca-12

Los resultados obtenidos del modelo hidrológico también incluyen los caudales pico simulados para diferentes períodos de retorno. Estos valores están en concordancia con los análisis previos de precipitación máxima diaria y la calibración del Número de Curva (CN) de la cuenca.

Tabla 21. Caudales picos simulados para diferentes períodos de retorno.

	Caudal Pico (m3/s)					
Elemento	**Tr= 2 años**	**Tr= 5 años**	**Tr= 10 años**	**Tr= 25 años**	**Tr= 50 años**	**Tr= 100 años**
Ronco	234.9	371.0	457.1	562.5	638.4	712.4
Roberto	62.9	94.1	114.1	138.8	156.8	174.5
Calabrisa	75.5	110.4	130.8	154.5	171.2	186.9
Sabana	53.5	78.6	94.3	113.8	127.9	141.2
Maravillas	45.5	69.6	83.0	97.7	107.3	116.1
Caño Late	29.9	44.6	54.0	65.4	73.8	81.9

5.4.3 Precipitación ponderada en la Cuenca

Para la construcción de escenarios en el modelo hidrodinámico comportamiento de las lluvias en el área de estudio, se recurrió a la base de datos hidro climáticas de estaciones mencionadas en el capítulo 4.5.

La Figura 50 presenta la curva de probabilidad acumulada ajustada a distribución lognormal 3 parámetros, que representan la distribución estadística de la precipitación máxima diaria anual ponderada en toda la cuenca para las estaciones seleccionadas. Estas gráficas permiten estimar la precipitación esperada para diferentes períodos de retorno (e.g., 2, 5, 10 años).

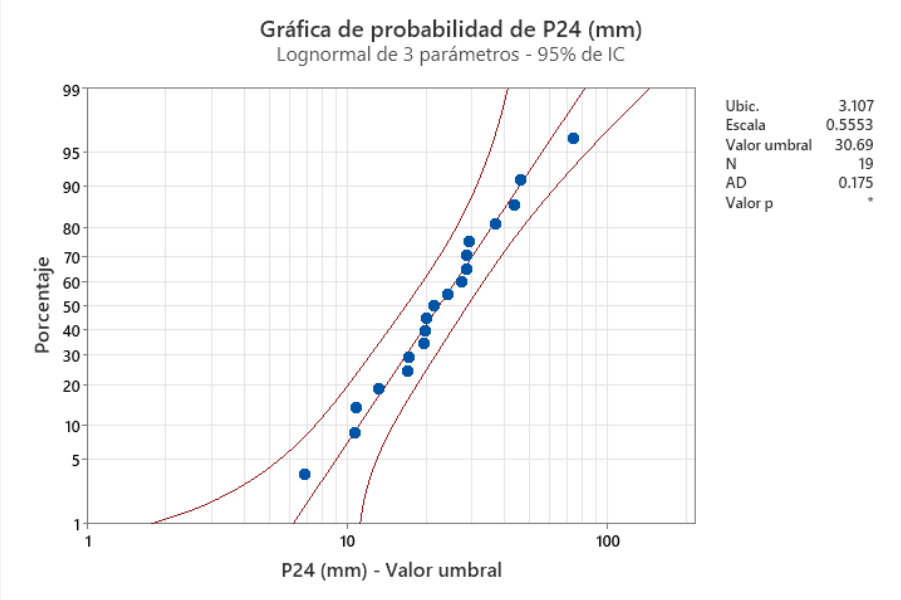


Figura 50. Grafica de probabilidad de precipitación ponderada en toda la cuenca.

La Tabla 15 presenta los valores de precipitación máxima diaria anual ponderada (en mm) calculados para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Los datos se basan en el análisis estadístico de las series históricas de las estaciones seleccionadas.

Tabla 22. Precipitación en 24 horas ponderada para diferentes periodos de retorno.

T (años)	P24 ponderada en la cuenca (mm)
2	53.0
5	66.4
10	76.2
25	89.8
50	100.6
100	112.0

5.4.4 Escenarios hidrológicos

Para la construcción de los escenarios, se seleccionaron tres eventos de precipitación medidos en la cuenca de la Ciénaga del Totumo. Estos eventos fueron elegidos con diferentes distribuciones espaciales, de manera que cada uno representara precipitaciones concentradas en la parte baja, media y alta de la cuenca.

Una vez obtenidas las precipitaciones ponderadas para cada período de retorno, los tres eventos seleccionados fueron utilizados para reproducir las condiciones correspondientes a cada período de retorno. Como resultado, se generaron un total de 18 escenarios, correspondientes a las tres distribuciones espaciales y, para cada una de ellas, seis períodos de retorno.

La siguiente tabla presenta los escenarios generados, donde las columnas corresponden a las precipitaciones ponderadas para cada período de retorno, y las filas representan las cuatro estaciones de la cuenca, agrupadas según su distribución en las zonas sur, media y norte.

Los valores en la tabla indican las precipitaciones simuladas en cada estación, asegurando la representación adecuada de la precipitación ponderada en cada escenario. Esto permite analizar cómo varía la distribución espacial de la lluvia y su impacto en la cuenca bajo diferentes condiciones de precipitación.

Tabla 23. Escenarios de precipitación distribuidos en la cuenca en mm.

	T (años)	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
	P24 promediada en la cuenca (mm)	***53.0***	***66.4***	***76.2***	***89.8***	***100.6***	***112.0***
Cuenca baja (Zona norte)	**HIBARACHO**	67.39	84.31	96.85	114.07	127.83	142.35
	REPELON	20.06	25.10	28.83	33.96	38.05	42.37
	BAYUNCA	25.86	32.35	37.16	43.77	49.05	54.62
	GALERAZAMBA	86.43	108.13	124.22	146.30	163.95	182.57
Cuenca media (Zona medio)	**HIBARACHO**	98.92	123.75	142.16	167.43	187.63	208.94
	REPELON	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	BAYUNCA	17.22	21.54	24.75	29.15	32.66	36.37
	GALERAZAMBA	10.77	13.48	15.48	18.23	20.43	22.75
Cuenca alta (Zona sur)	**HIBARACHO**	45.63	57.09	65.58	77.24	86.56	96.39
	REPELON	46.64	58.35	67.02	78.94	88.46	98.51
	BAYUNCA	111.35	139.30	160.02	188.47	211.20	235.19
	GALERAZAMBA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Los escenarios generados fueron ingresados en el modelo hidrológico previamente calibrado en HEC-HMS, lo que permitió obtener los hidrogramas correspondientes para cada uno de los arroyos tributarios de la Ciénaga del Totumo. En las siguientes figuras, se presentan los hidrogramas resultantes para los arroyos Ronco, Roberto, Calabrisa, Sabana, Maravillas y Caño Late, bajo cada uno de los períodos de retorno considerados.

Los hidrogramas muestran una respuesta hidrológica coherente con el aumento del período de retorno (Tr), evidenciando un incremento del caudal pico y del volumen de escorrentía a medida que

los eventos de lluvia se intensifican. Esta tendencia es más marcada en el arroyo Ronco cuyas subcuencas están situadas en zonas norte, media y sur, donde se concentraron las lluvias simuladas. Los resultados permiten observar que, cuando las precipitaciones se concentran en zonas de la cuenca diferentes a la ubicación de una subcuenca, el caudal generado puede ser considerablemente bajo. Es el caso, por ejemplo, de los arroyos Calabrisa, Maravillas y Caño Late, cuyas subcuencas están localizadas en la zona norte, por lo que presentan bajos aportes cuando los eventos de lluvia se simulan sobre las zonas media y sur.

Este enfoque de distribución no uniforme de las lluvias busca reflejar de forma más realista las condiciones meteorológicas que se presentan en la región, evitando la simplificación de asignar una precipitación homogénea en toda la cuenca.

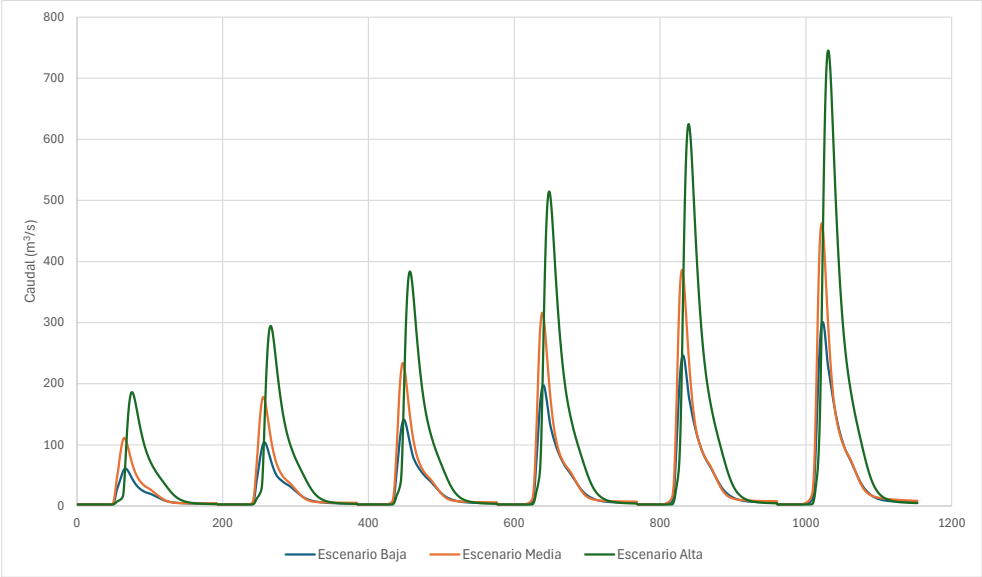


Figura 51. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco.

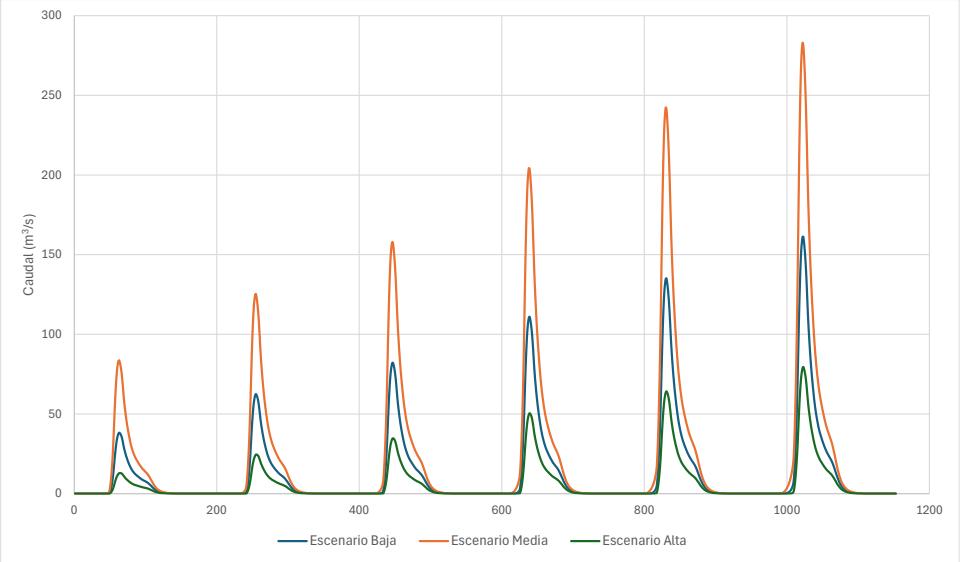


Figura 52. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Roberto.

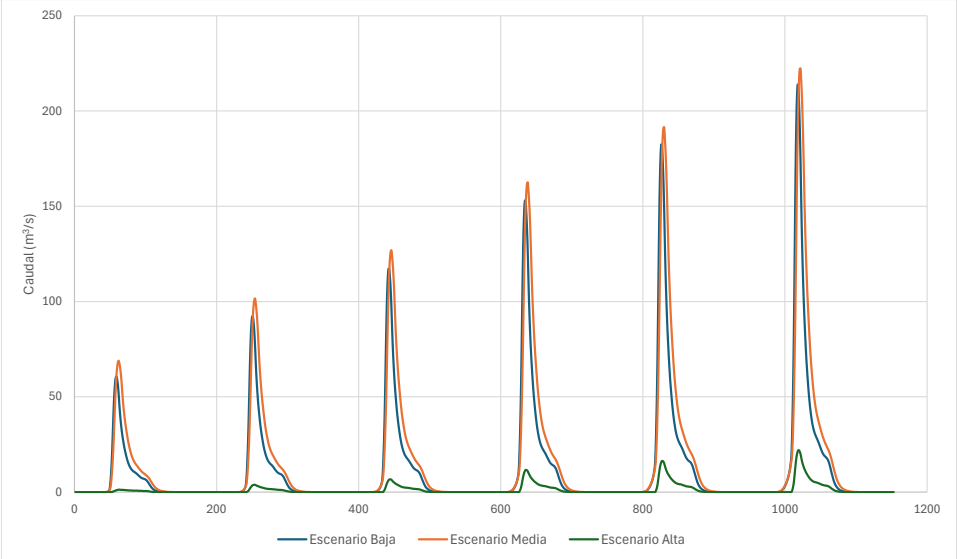


Figura 53. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Calabrisa.

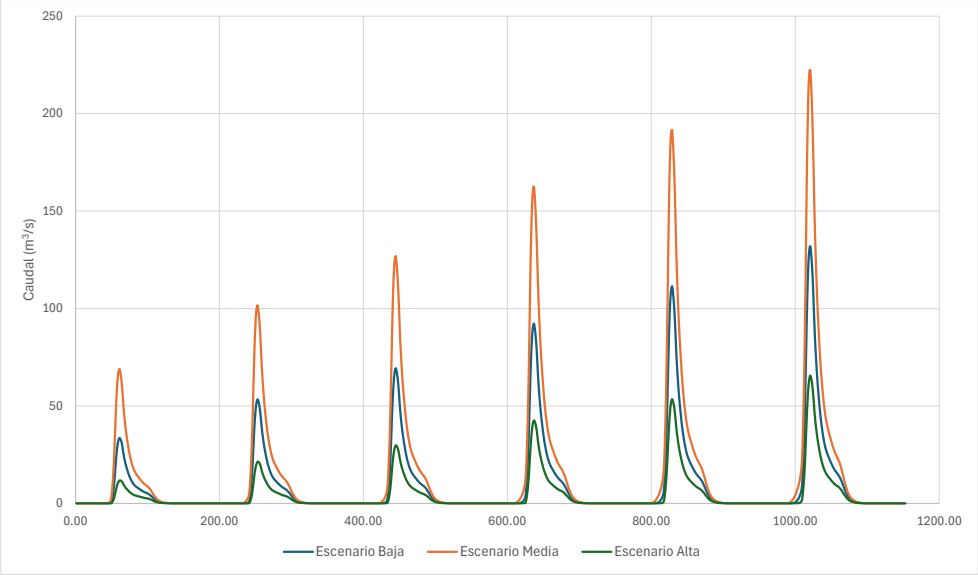


Figura 54. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Sabana.

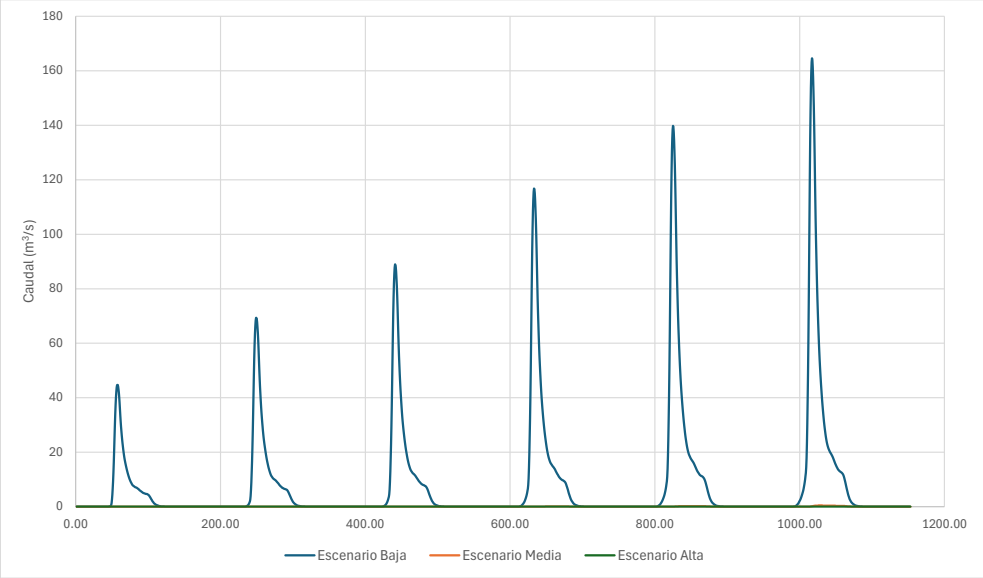


Figura 55. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Maravillas.

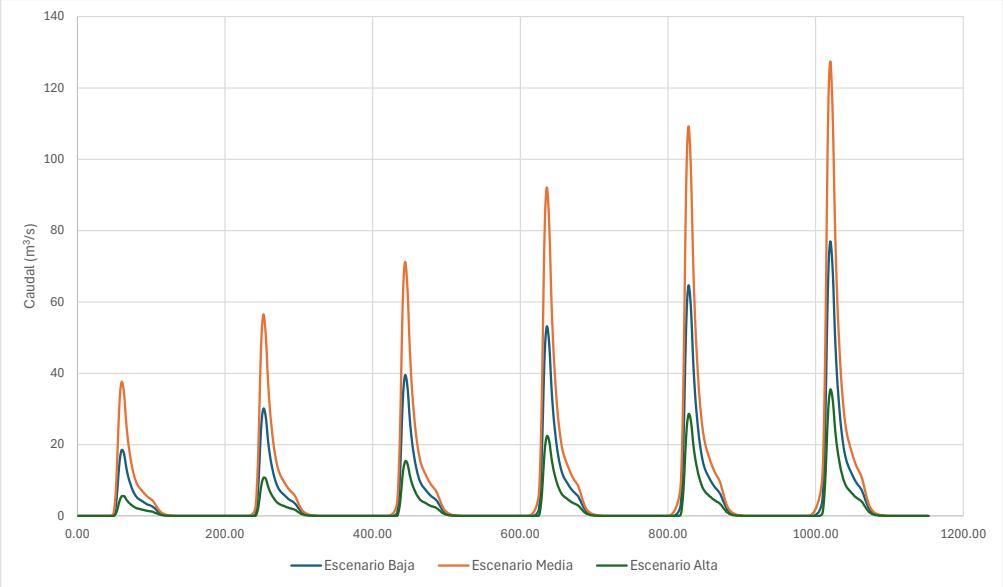


Figura 56. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Caño Late.

5.5 Modelo continuo HEC-HMS

El modelo continúo implementado en HEC-HMS permite simular el comportamiento hidrológico de la Ciénaga del Totumo a lo largo del tiempo, incorporando variables como precipitación diaria, evaporación, infiltración y almacenamiento superficial.

Este enfoque es adecuado para evaluar la evolución del nivel del agua en función de condiciones climáticas reales, y resulta fundamental para analizar la dinámica de la ciénaga en periodos prolongados. El modelo fue calibrado considerando la evapotranspiración potencial (usando la fórmula de Hargreaves y Samani), un análisis pluviométrico multianual y un método de abstracción tipo déficit y constante, validado frente al modelo del Número de Curva (CN).

Con esta configuración, el modelo permite estimar la respuesta hidrológica de la cuenca frente a distintos escenarios climáticos.

5.5.1 Evaporación potencial

La fórmula propuesta por Hargreaves y Samani (1985) es una herramienta que estima la Evapotranspiración Potencial (ET_0) utilizando datos climáticos básicos, como la temperatura máxima y mínima, y la radiación solar. Este método es adecuado para áreas donde no se dispone de estaciones meteorológicas completas.

- **Ecuación de Hargreaves**

La ecuación general es la siguiente:

$$E = 0.0023 \cdot (T_{med} + 17.8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot R_0$$

Donde:

- E: Evapotranspiración potencial diaria (mm/día).
- T_{med} : Temperatura media diaria (°C).
- T_{max} : Temperatura máxima diaria (°C).
- T_{min} : Temperatura mínima diaria (°C).
- R_0: Radiación solar extraterrestre en mm/día, que depende de la latitud y la época del año.

Tabla 24. Datos mensuales de evaporación potencial.

Mes	R0	t_{med}	t_{max}	t_{min}	E (mm/día)	E (mm/mes)
Enero	13.00	26.5	29.0	23.9	3.00	92.9
Febrero	14.100	26.6	29.3	23.8	3.37	94.3
Marzo	15.10	27.0	29.5	24.5	3.47	107.5
Abril	15.5	27.6	30.0	25.1	3.57	107.2
Mayo	15.3	28.2	30.9	25.6	3.70	114.8
Junio	15.1	28.1	31.0	25.1	3.88	116.4
Julio	15.1	27.9	30.9	24.9	3.88	120.4
Agosto	15.3	28.0	31.0	25.0	3.94	122.2
Septiembre	15.1	27.9	30.9	24.9	3.88	116.5
Octubre	14.3	27.5	30.5	24.6	3.60	111.5
Noviembre	13.20	27.5	30.2	24.7	3.23	97.0
Diciembre	12.70	26.9	29.5	24.4	2.94	91.1

5.5.2 Caracterización pluviométrica

La caracterización pluviométrica es un insumo clave para comprender el comportamiento hídrico de la cuenca bajo distintos regímenes de precipitación, y permite definir escenarios representativos para la modelación hidrológica. En este análisis, se compararon los valores de precipitación anual ponderada en la cuenca de la Ciénaga del Totumo con base en registros históricos.

Para definir el período de análisis, se identificaron tres años representativos dentro del registro pluviométrico:

- 2009, como el año con menor precipitación, representando un escenario seco.
- 2012, como un año de precipitación intermedia, considerado representativo de condiciones medias.
- 2011, como el año con mayores precipitaciones, correspondiente a un escenario húmedo.

Con base en estos criterios, se seleccionó un período de cinco años (2009 a 2013) que incluye eventos de baja, media y alta precipitación, lo cual permite capturar la variabilidad interanual de las lluvias en la cuenca.

En la Tabla 21, se presenta la precipitación anual registrada en distintos años y su correspondiente probabilidad de excedencia (P_{exc}), lo cual proporciona un marco probabilístico para la selección de escenarios hidrológicos:

Tabla 25. Datos precipitación anual Cuenca del Totumo

Año	Precipitación Anual (mm)	P_{exc}
2009	**872.1**	**95%**
2002	872.4	90%
1982	884.7	85%
2001	914.4	80%
2013	938.6	75%
2000	955.9	70%
1985	1000.5	65%
1980	1001.7	60%
2012	**1092.6**	**55%**
1984	1100.3	50%
2006	1159.2	45%
1999	1180.1	40%
2005	1243.7	35%
1981	1257.0	30%
1979	1330.9	25%
2008	1429.7	20%
2007	1447.3	15%
2011	**1613.5**	**10%**
2010	2103.7	5%

5.5.3 Método de infiltración

Para un período de retorno de 2 años, se verificó que el modelo de abstracción de *déficit y constante* pudiera reproducir tanto los caudales pico como el volumen total obtenido con el modelo basado en el Número de Curva (CN). Esta verificación se realizó para cada una de las subcuencas, con el objetivo de calibrar el modelo de abstracción y asegurar su precisión en la estimación de la escorrentía.

Una vez calibrado, el modelo de abstracción se utilizó para simular períodos prolongados de varios años, permitiendo analizar la variación de niveles en la Ciénaga del Totumo a largo plazo en función de precipitaciones medidas. Esto proporcionará una mejor comprensión del comportamiento hidrológico de la cuenca y su respuesta ante diferentes condiciones climáticas.

5.5.4 Resultados modelo continuo

La Figura 57 muestra la variación del nivel en la Ciénaga del Totumo durante los cinco años evaluados (parte superior) y la precipitación diaria correspondiente a cada año (parte inferior). Se observa que en los años 2010 y 2011 las precipitaciones fueron significativamente mayores en comparación con los otros años. Durante el primer cuatrimestre, las precipitaciones son bajas, lo que provoca un descenso en los niveles de la ciénaga hasta aproximadamente **-0.1 m.s.n.m.** En el segundo cuatrimestre, las lluvias aumentan progresivamente, y en el último cuatrimestre, el período más lluvioso del año, los niveles de agua se recuperan, evitando que el sistema se seque y se mantenga en equilibrio.

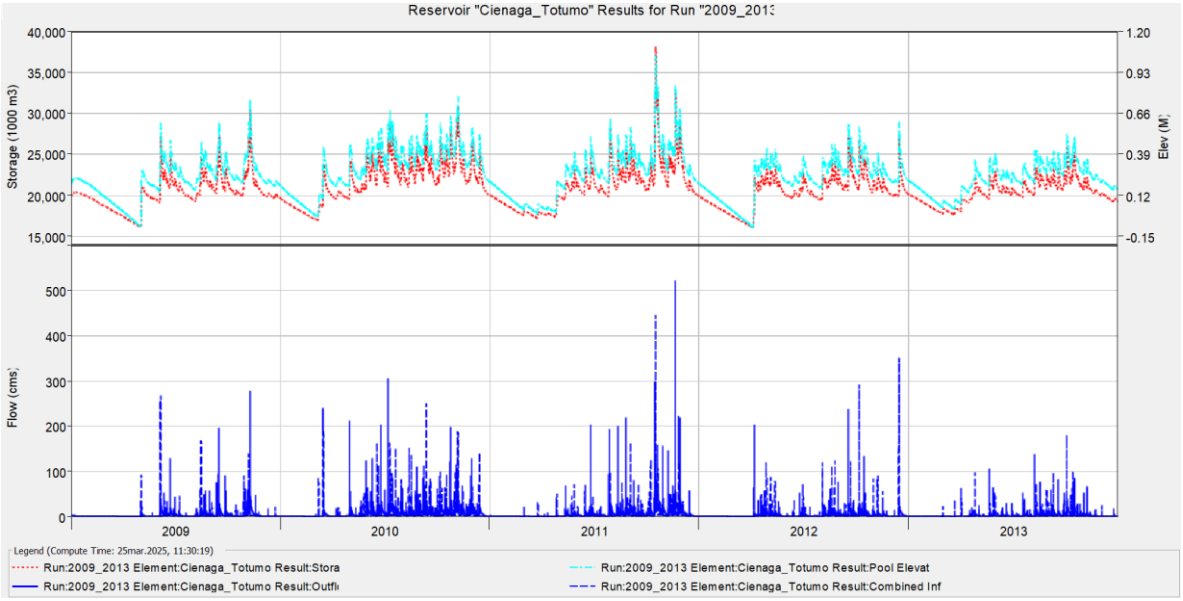


Figura 57. Variación multianual de niveles en Ciénaga del Totumo.

6 Modelo numérico hidrodinámico

Esta sección presenta la configuración del modelo computacional en HEC-RAS empleado para evaluar la hidrodinámica de la Ciénaga del Totumo. El modelo reproduce el comportamiento de las estructuras hidráulicas existentes, incluyendo compuertas y box-culverts, e incorpora los aportes de los arroyos tributarios, así como la influencia del viento sobre la superficie del cuerpo de agua. La Figura 58 muestra la delimitación de la ciénaga y la ubicación de los principales tributarios considerados en el análisis.

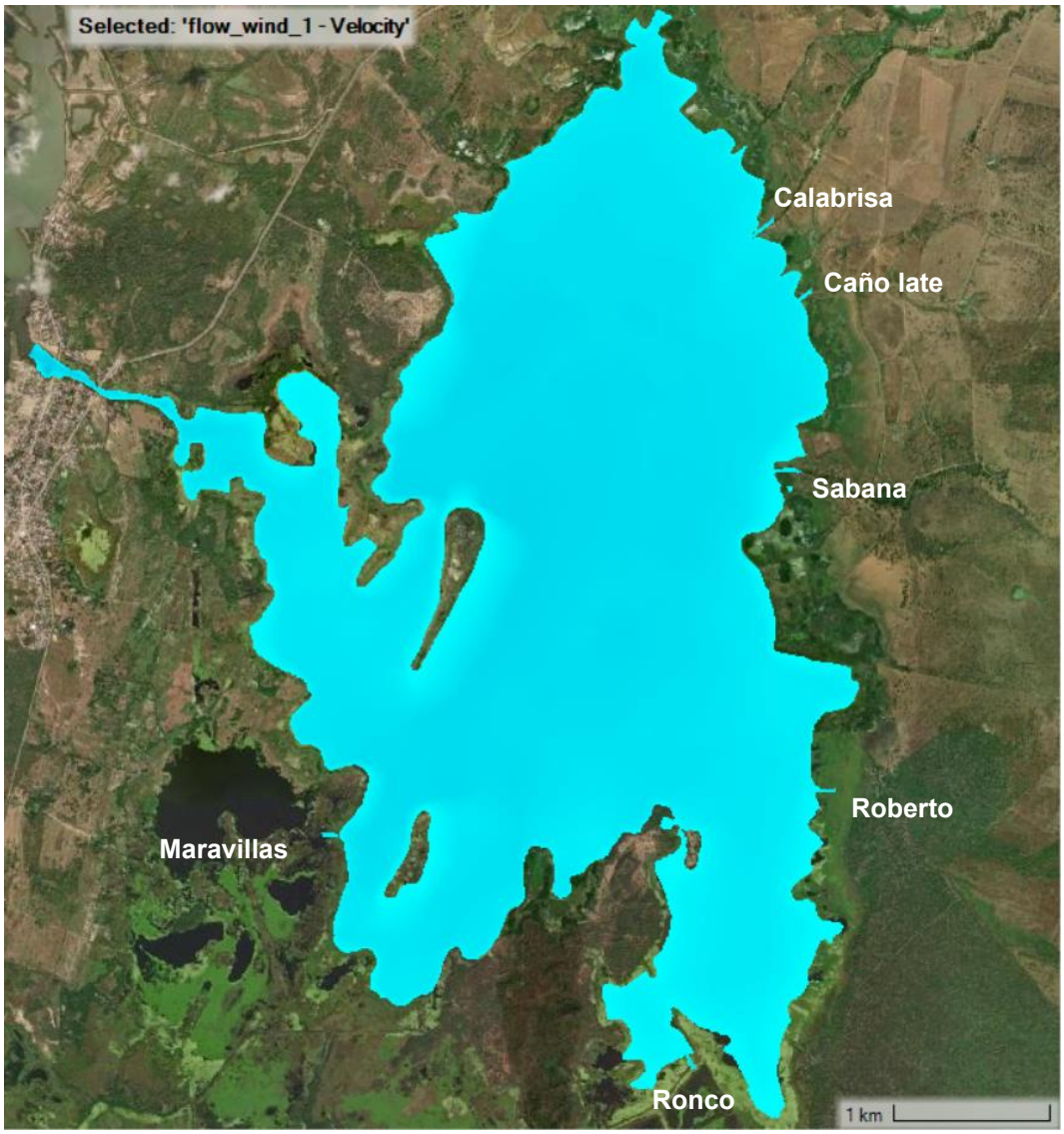


Figura 58. Zona de estudio y condiciones.

6.1 Características hidráulicas

Para el análisis de caudales, se utilizaron los valores simulados de los escenarios hidrológicos modelados en HEC-HMS para cada uno de los arroyos afluentes a la ciénaga. En el capítulo 5.4.4 se presentaron los hidrogramas generados para cada uno de los tributarios y para los distintos períodos de retorno considerados, los cuales sirvieron como insumo para evaluar el comportamiento hidráulico de la ciénaga.

El comportamiento hidráulico de la ciénaga está condicionado por tres factores principales: la precipitación neta en la cuenca y el funcionamiento de las compuertas, que permiten regular el nivel del agua en su interior. La Figura *59* presenta las curvas HQ (caudal vs. elevación) correspondientes a las compuertas, para los escenarios de tres, cuatro y todas las compuertas abiertas, describiendo así su comportamiento hidráulico bajo diferentes condiciones operativas.

Asimismo, el modelo incluye un perfil transversal del sector de influencia de las compuertas en HEC-RAS (ver Figura *60*), en el que se representan las estructuras del puente, compuertas y box-culverts, garantizando una integración precisa de estos elementos en la simulación hidrodinámica de la ciénaga

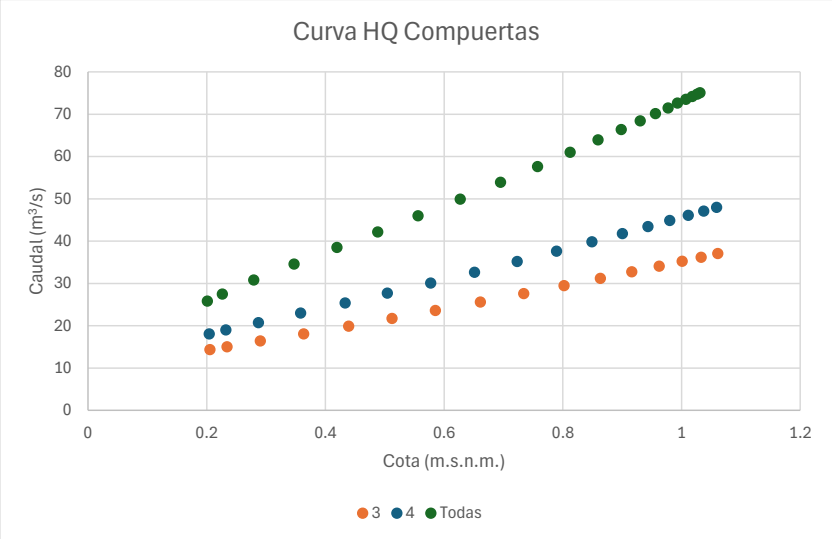


Figura 59. Curva HQ de Compuertas.

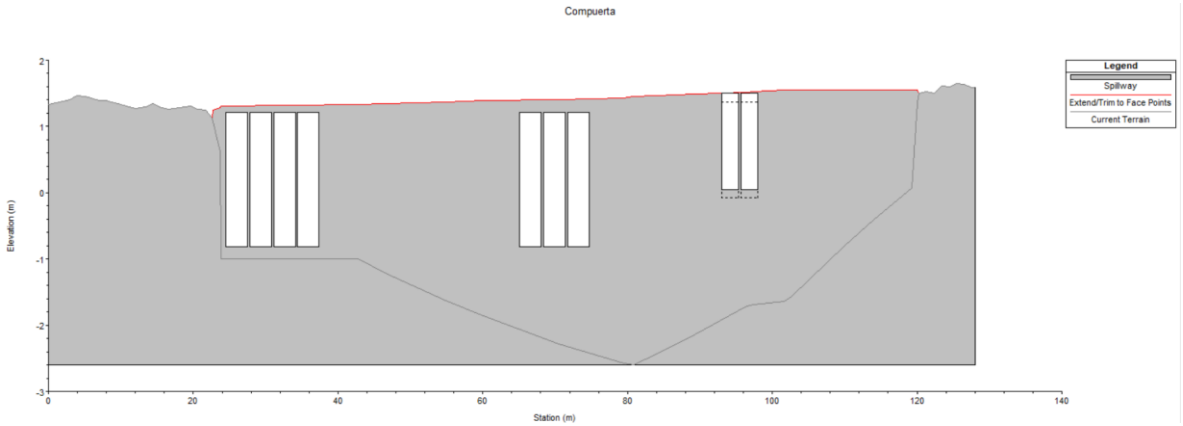


Figura 60. Perfil transversal de puente con Compuertas y Box-Culvert.

Para la definición del coeficiente de rugosidad de Manning (n), se recurrió a valores de referencia bibliográfica, los cuales fueron ajustados durante la calibración del modelo para asegurar la coherencia hidráulica de los resultados. Según Chow (1985), para cuerpos de agua con anchos superficiales mayores a 30 metros, el valor de n varía entre 0.025 y 0.060, en función del tipo de cauce y la vegetación circundante. En el caso de la ciénaga, se adoptó un valor de 0.04.

6.2 Zonas de amortiguamiento

Con el objetivo de representar de manera más realista el ingreso de caudales a la Ciénaga del Totumo y reducir los efectos hidrodinámicos abruptos provocados por los picos de avenida, se implementaron zonas de amortiguamiento en dos de los principales arroyos tributarios. Estas zonas simulan áreas de expansión o humedales intermedios que permiten atenuar los hidrogramas antes de su incorporación al cuerpo principal de la ciénaga, sin modificar el volumen total del aporte de la cuenca.

Para modelar este efecto, se aplicó el método de tránsito con piscina nivelada, la cual considera una relación directa entre el caudal de entrada, el volumen almacenado y el caudal de salida de una sección. Este método parte del principio de conservación de masa, bajo el supuesto de que la superficie libre del almacenamiento permanece horizontal en todo momento (condición de piscina nivelada).

La ecuación general de continuidad que describe este proceso es:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q$$

Donde:

- S = almacenamiento en el tiempo ttt (m^3)
- I = caudal de entrada (m^3/s)
- Q = caudal de salida (m^3/s)

Para estimar el caudal de salida, se empleó la fórmula clásica de vertedero rectangular:

$$Qsalida = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

donde:

- Q_{salida} es el caudal que se libera desde la zona de amortiguamiento (m^3/s),
- C es el coeficiente del vertedero (dependiente del tipo de estructura, en este caso se adoptó un valor típico de 1.7 a 2.3 para vertederos rectangulares),
- Les el ancho efectivo del vertedero o salida (m),
- H es la altura del nivel de agua sobre el umbral del vertedero (m).

Este planteamiento fue utilizado para simular el comportamiento hidráulico de las zonas de amortiguamiento, tal como se ilustra en la Figura 61. Estas zonas permiten regular el paso de los caudales máximos hacia la ciénaga, generando una atenuación del hidrograma de entrada y suavizando las variaciones de caudal, aproximando las condiciones de flujo real..



Figura 61. Zonas de amortiguamiento en el arroyo Ronco (izquierda) y Maravillas (derecha).

Como resultado, se logró una reducción de los caudales pico, sin alterar el volumen total aportado:

- En el caso del arroyo Maravillas, se redujo el caudal pico en un 30%,

Para el arroyo Ronco, la atenuación fue superior al 50%. De la Figura 62 a la Figura 67 se presentan los hidrogramas resultantes para los diferentes períodos de retorno considerados (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años), comparando los escenarios con y sin zonas de amortiguamiento, y evidenciando el efecto de atenuación temporal y reducción de picos de caudal que estas áreas producen.

Esta estrategia no solo mejora la estabilidad del modelo hidrodinámico al evitar variaciones súbitas en los caudales de entrada, sino que también representa de forma más realista la dinámica de los humedales aledaños.

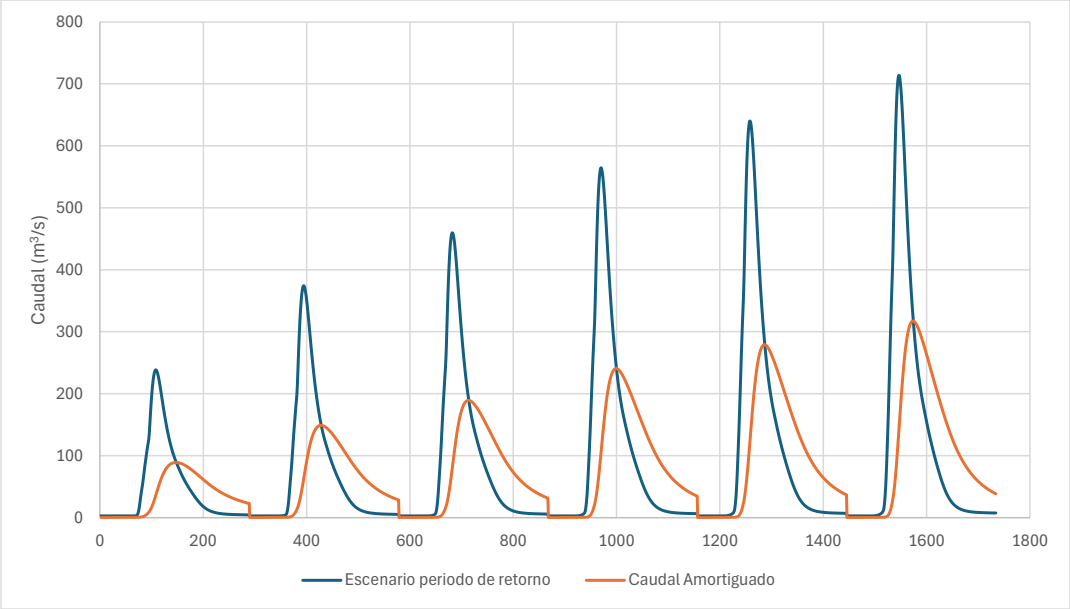


Figura 62. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco con zona de amortiguamiento.

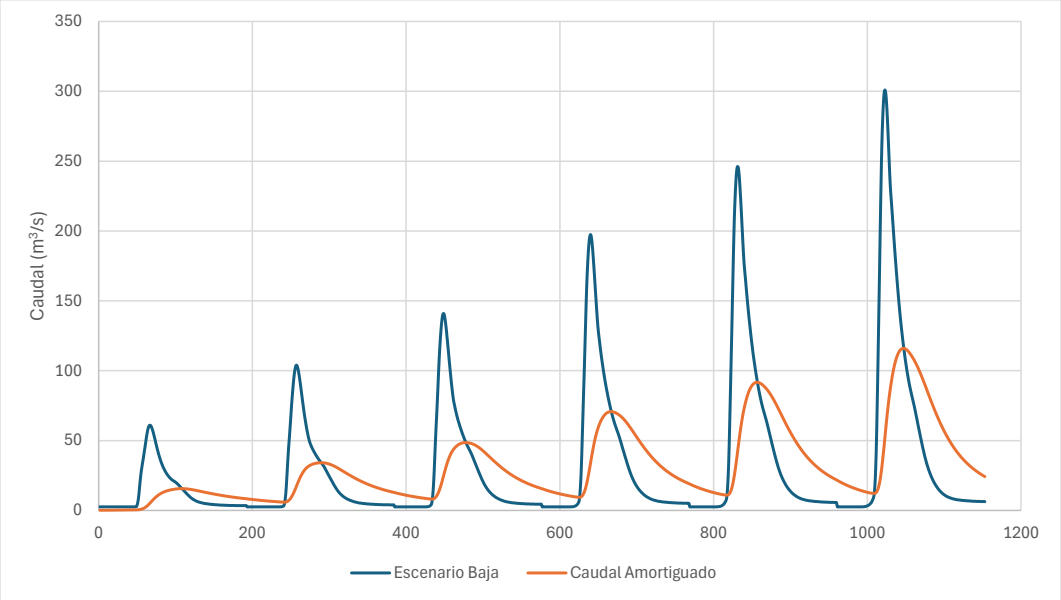


Figura 63. Hidrogramas escenarios zona norte para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco con zona de amortiguamiento.

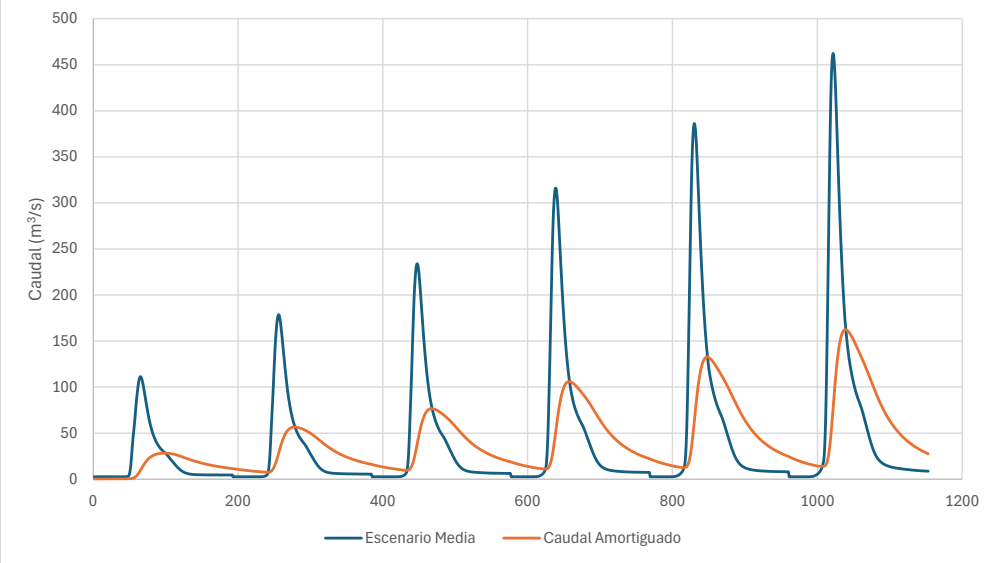


Figura 64. Hidrogramas escenarios zona media para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco con zona de amortiguamiento.

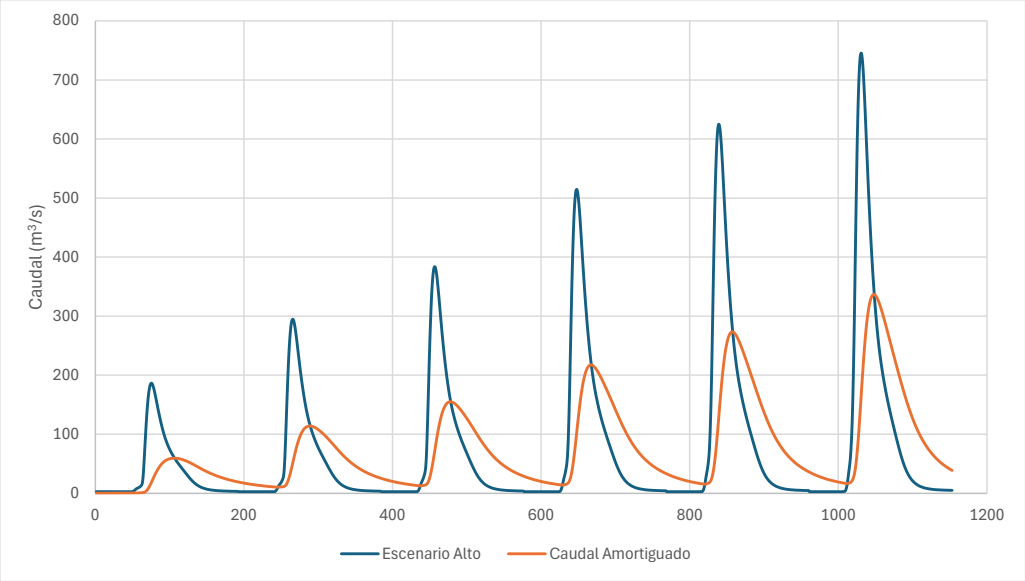


Figura 65. Hidrogramas escenarios zona sur para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Ronco con zona de amortiguamiento.

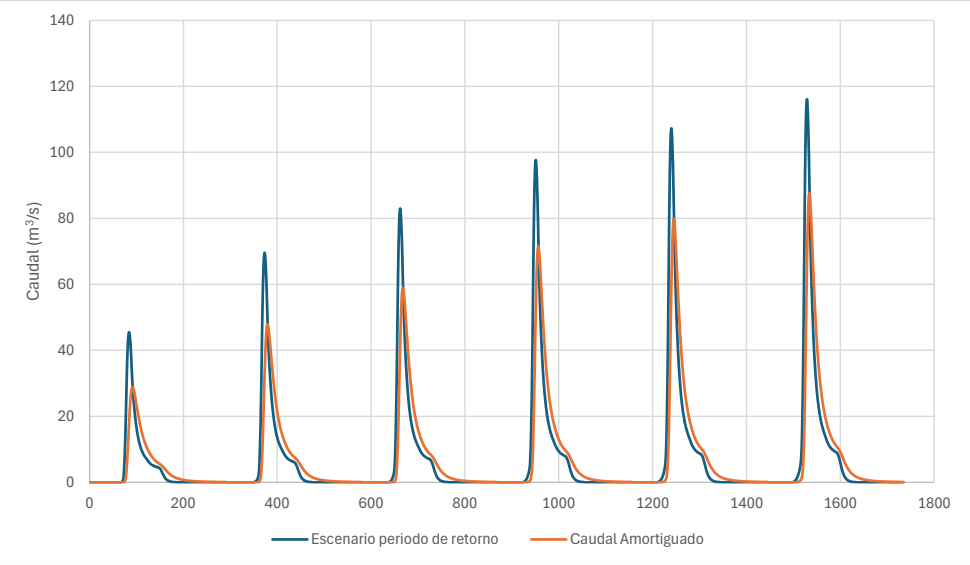


Figura 66. Hidrogramas para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Maravillas con zona de amortiguamiento.

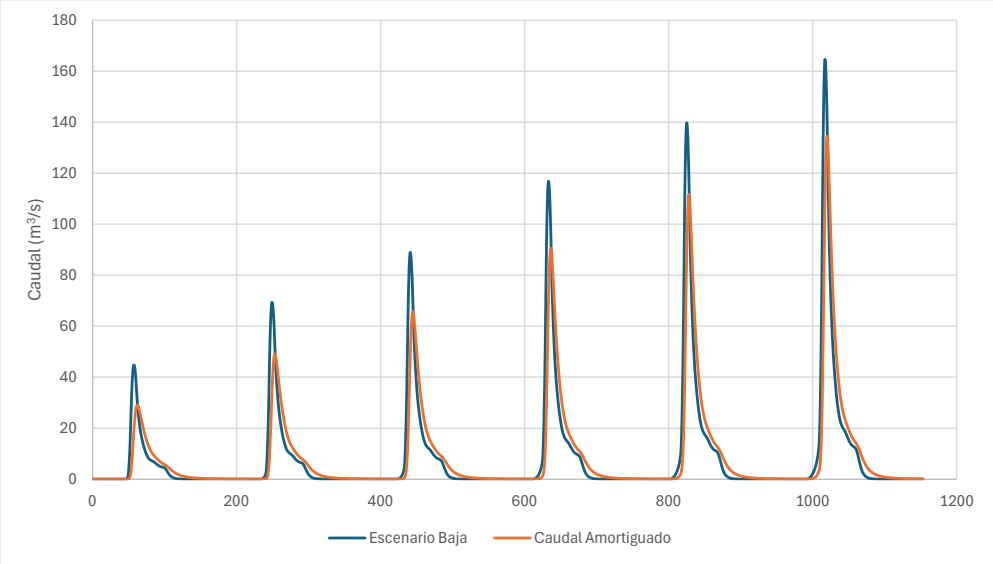


Figura 67. Hidrogramas escenarios zona norte para Tr=2,5,10,25,50,100 años para arroyo Maravillas con zona de amortiguamiento.

6.3 Dominio computacional

El dominio computacional está compuesto por 24,072 celdas, con una longitud de cara promedio de 28 metros y un tamaño mínimo de 5 metros. Esta configuración proporciona una resolución espacial adecuada para capturar las variaciones geométricas del sistema y garantizar una representación de los procesos hidrodinámicos. (Figura *68*).

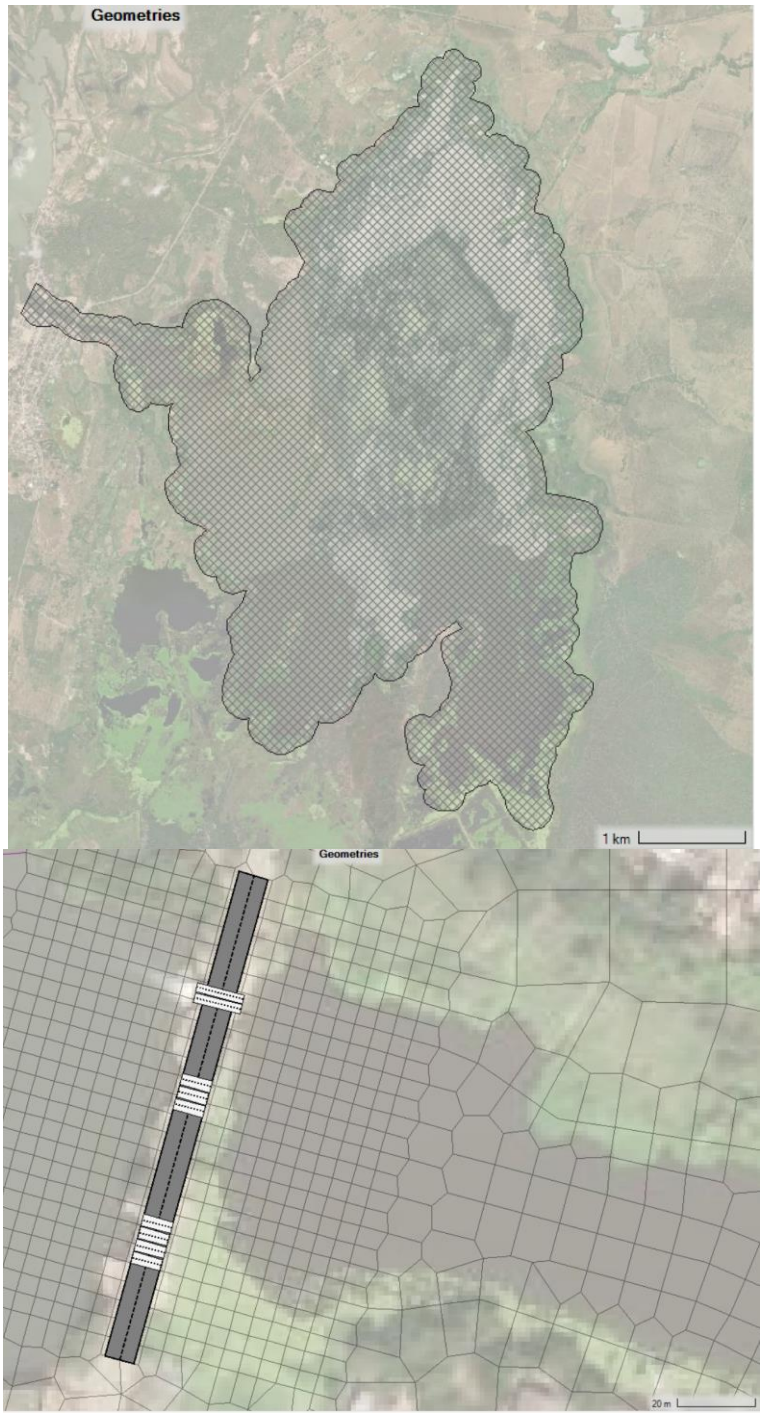


Figura 68. Dominio computacional del sector de estudio

6.4 Modelo digital de elevación del lecho

Para la construcción del modelo digital de elevación (DEM), se procesó la cota del lecho en el tramo de modelación utilizando un filtro de elevaciones mayores a 3.5 metros, con el objetivo de eliminar

la vegetación arbórea. Los datos provienen de un levantamiento batimétrico, complementado con un levantamiento topográfico con dron RTK para las zonas secas como se muestra en la Figura *69*. Posteriormente, la información fue depurada, eliminando interferencias asociadas a la vegetación para mejorar la precisión de los modelos computacionales 2D.

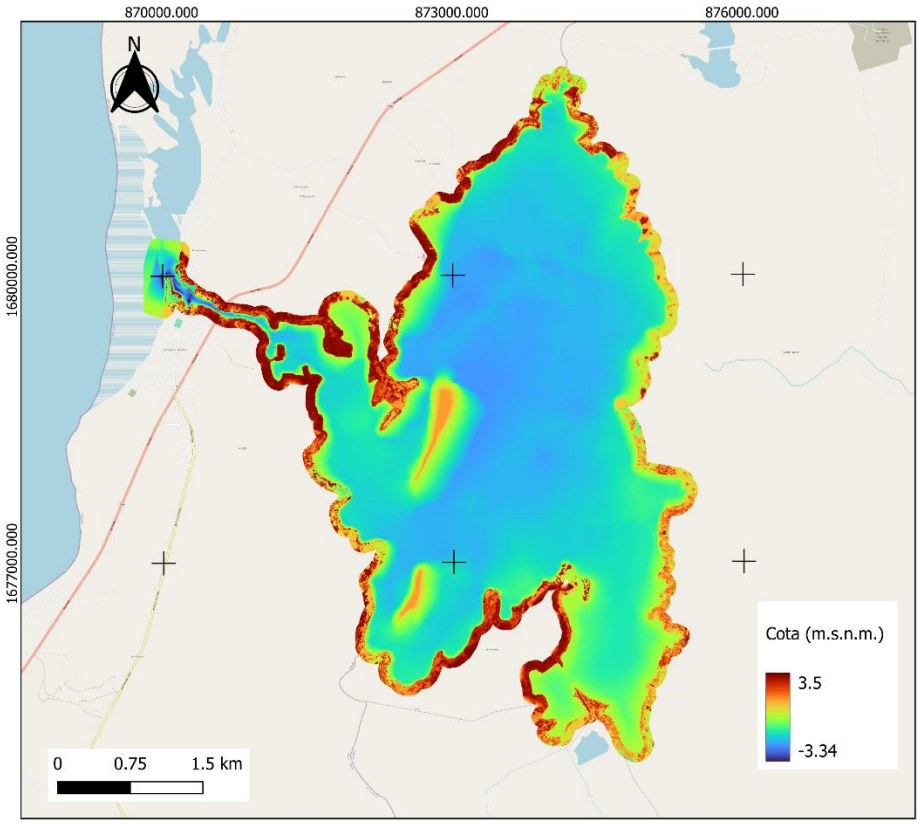


Figura 69. Modelo digital de elevación.

6.5 Condiciones de viento

El viento desempeña un papel crucial en la dinámica hidrodinámica de la Ciénaga del Totumo, ya que influye en la generación de corrientes superficiales que modifican los patrones de sedimentación y la interacción entre los flujos entrantes y salientes. Además, su acción puede inducir procesos de re-suspensión de sedimentos.

El análisis de las condiciones de viento se basó en las rosas de viento generadas para distintos periodos del año, las cuales permiten identificar las direcciones predominantes y las variaciones estacionales en la velocidad del viento.

La Figura *73* presenta la rosa de viento correspondiente al periodo septiembre - diciembre, donde se evidencia un predominio de vientos provenientes del noreste. Sin embargo, dentro de este periodo se pueden observar variaciones en la dirección del viento. Los análisis realizados indican que la velocidad promedio del viento para estos meses es de 6.75 m/s a una altura de 10 metros sobre el suelo, con una dirección predominante del noreste. Este valor ha sido utilizado en las simulaciones hidrodinámicas debido a que corresponde al periodo de lluvias en la zona, donde el viento puede tener un mayor impacto en la dinámica de la ciénaga.

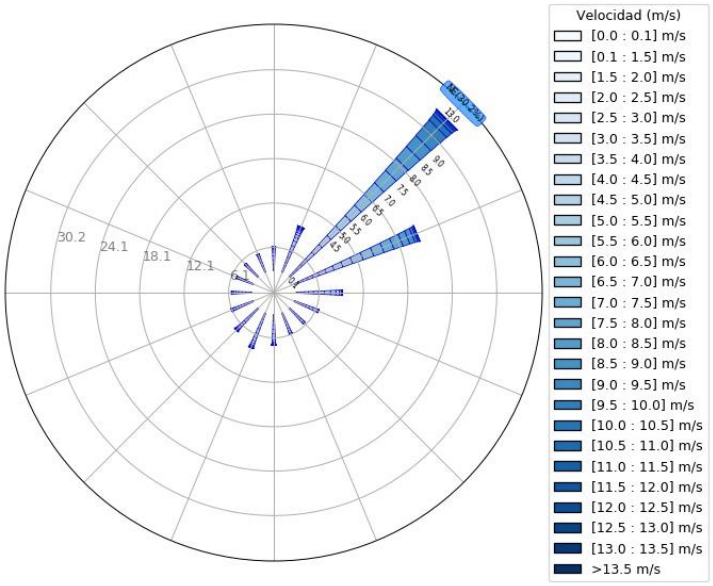


Figura 70. Rosa de viento Septiembre - diciembre.

Para los otros periodos del año, representados en la Figura *71*, se identifican las siguientes características:

- **Enero - Abril:** Se mantiene el predominio de vientos provenientes del noreste, con velocidades considerables.
- **Mayo - Agosto:** Se observa una ligera variación en la dirección del viento, con una mayor orientación hacia el este y posibles fluctuaciones en la intensidad.

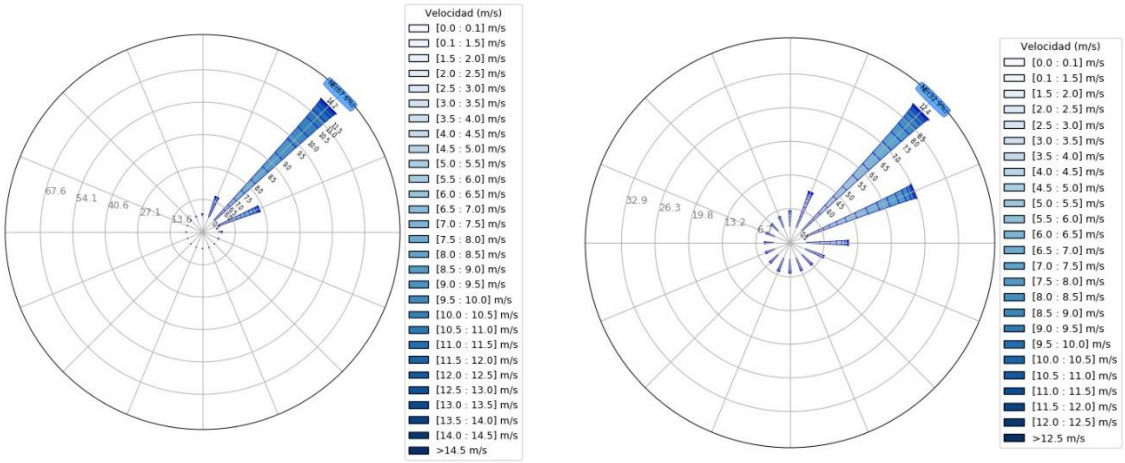


Figura 71. Rosas de viento Enero – Abril y Mayo – Agosto.

En la Figura 72, se presenta la forma en la que el viento ha sido incorporado como una condición constante dentro del modelo hidrodinámico de la ciénaga, basándose en el análisis de la rosa de viento para el periodo septiembre – diciembre, el cual coincide con la principal temporada de lluvias en la región.

Los parámetros utilizados en la simulación son los siguientes:

- **Velocidad del viento:** 6.75 m/s a 10 metros sobre el suelo.
- **Dirección predominante:** Noreste.

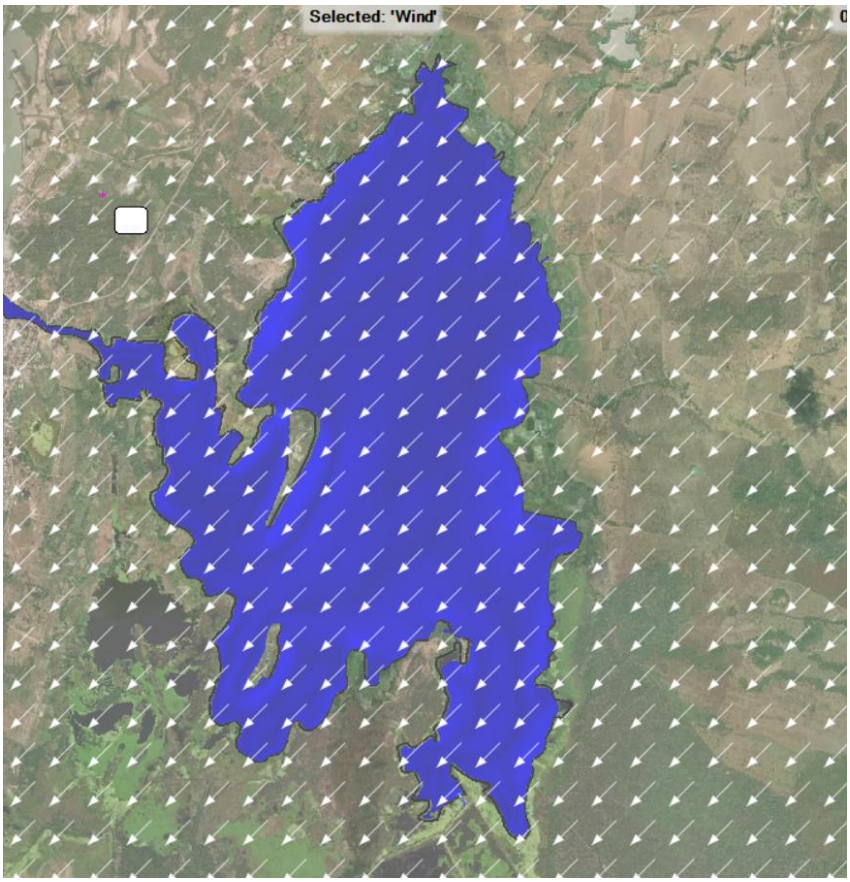


Figura 72. Dirección y magnitud del viento simulada.

6.6 Validación de niveles

En el modelo HEC-RAS se integraron los caudales asociados a eventos de precipitación registrados en agosto de 2012, con datos obtenidos de estaciones del IDEAM. Esta configuración permitió evaluar la respuesta hidrodinámica de la ciénaga ante dichos eventos, analizando la variación del nivel del agua.

Los resultados muestran cómo el modelo reproduce de manera realista el ascenso y descenso del nivel de la ciénaga, validando su capacidad para representar la dinámica hidrológica del sistema.

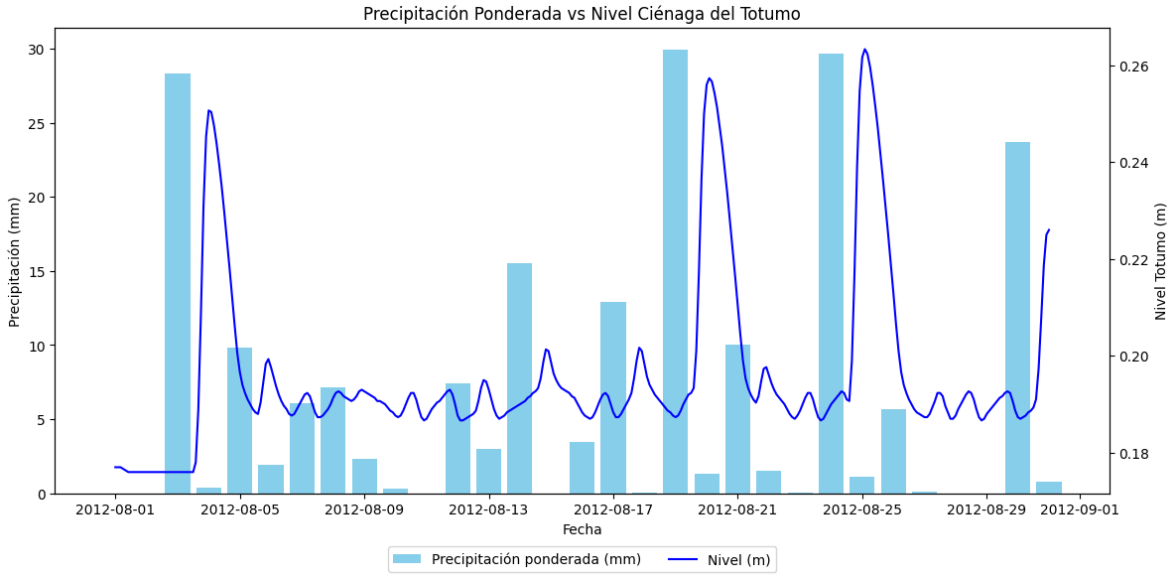


Figura 73. Serie de precipitación ponderada y nivel modelado.

6.7 Resultados y análisis de condiciones hidrodinámicas

6.7.1 Modelación de compuertas

Se realizó una simulación hidráulica 2D en HEC-RAS para analizar el comportamiento de las compuertas en el área de estudio. El análisis incluyó:

- Representación de la distribución de velocidades mediante vectores y colores, garantizando que las magnitudes sean coherentes con la dinámica del flujo.

- Identificación de zonas de alta concentración de flujo y velocidades máximas, evaluando los efectos de la apertura de compuertas en la hidrodinámica del sistema.

La Figura *74* y Figura *75* muestran los mapas de velocidades en la zona de las compuertas y el canal de salida. Se observan vectores de velocidad cuyas magnitudes varían entre 0 y 2 m/s bajo condiciones promedio. Las mayores velocidades se presentan justo en las compuertas, donde se libera un caudal considerable al estar estas en operación.

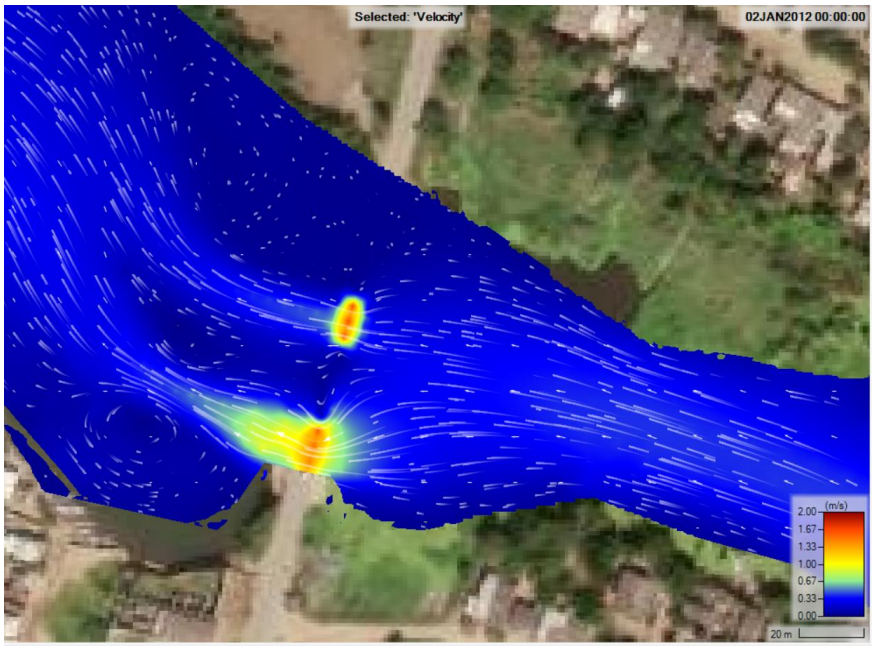


Figura 74. Líneas de corrientes con compuertas abiertas.

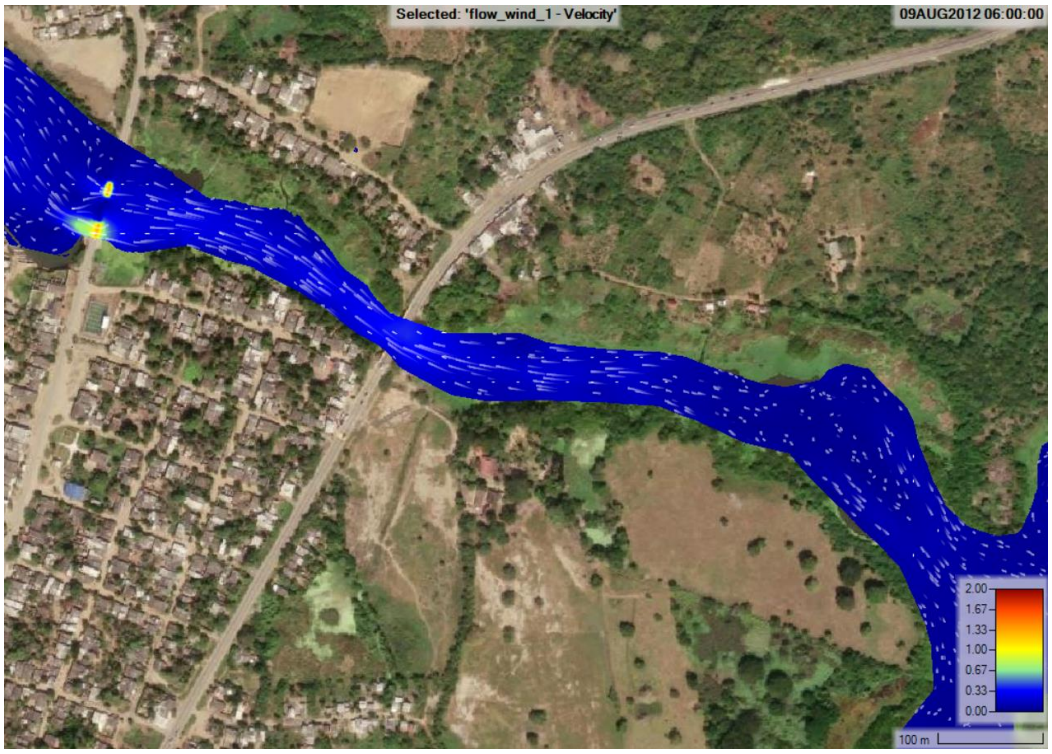


Figura 75. Líneas de corrientes y velocidad en canal de salida con compuertas abiertas.

6.7.2 Modelación del viento

La

Figura *76* muestra los resultados de la simulación hidrodinámica al incorporar el efecto del viento sobre la superficie de la Ciénaga del Totumo. Bajo condiciones promedio de viento, se generan velocidades superficiales que varían entre 0.01 m/s y 0.2 m/s en todo el cuerpo de agua, como se indica mediante la escala de colores. Las flechas de dirección evidencian un patrón de circulación generado por la acción del viento, el cual influye en el transporte de masa dentro del sistema. Aunque las velocidades inducidas son bajas en comparación con otros forzantes, su efecto acumulativo puede resultar significativo para la redistribución de sedimentos finos y la generación de procesos de re-suspensión, especialmente en áreas de baja profundidad o con alta disponibilidad de material no consolidado.

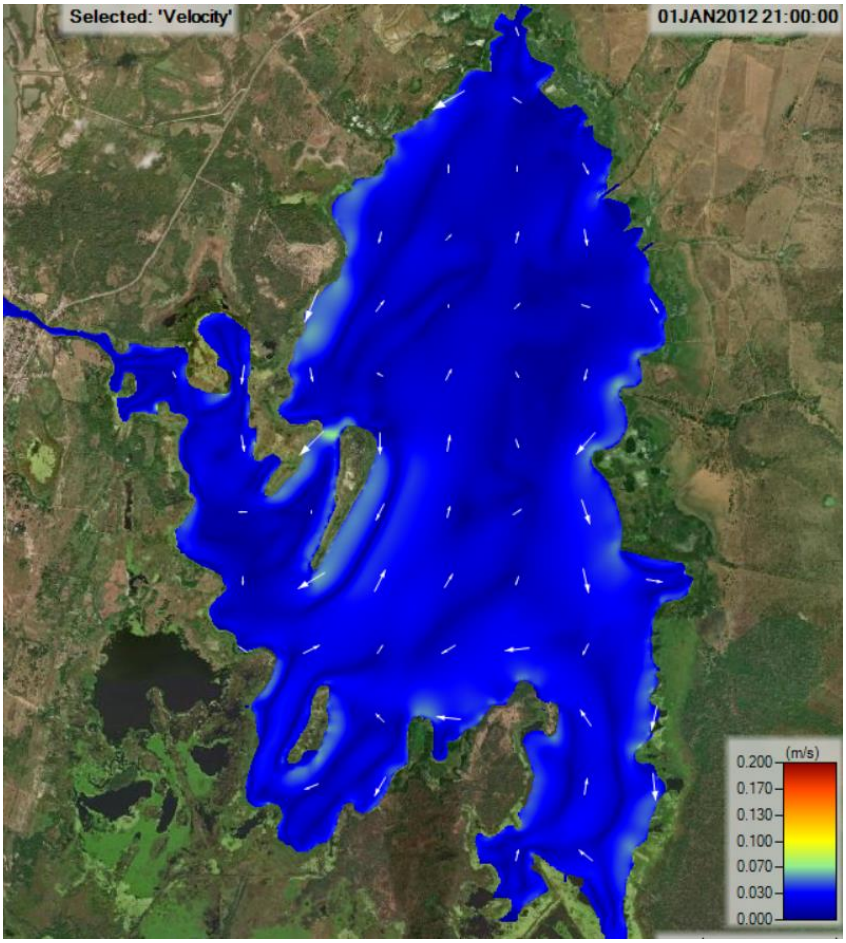


Figura 76. Distribución espacial de velocidades superficiales en la Ciénaga del Totumo bajo la acción exclusiva del viento.

La
Figura 77 muestra con mayor detalle las velocidades en el sector cercano al Volcán del Totumo, donde se alcanzan valores entre 0.06 y 0.1 m/s. Estos resultados evidencian que, incluso en ausencia de aportes de caudal por los tributarios, el viento puede inducir movimientos significativos del agua, promoviendo la re-suspensión de sedimentos.

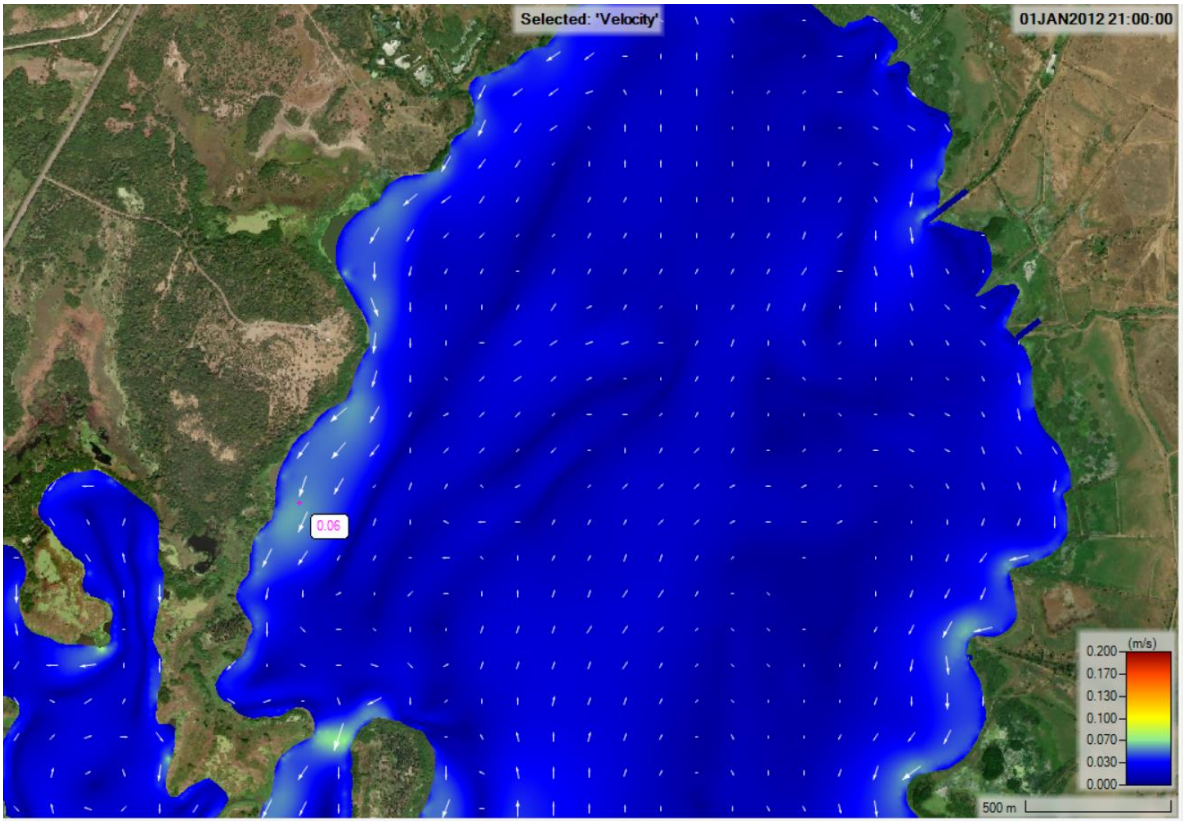


Figura 77. Mapa de velocidades en Sector de volcán del Totumo.

6.7.3 Resultados y análisis de sensibilidad de escenarios hidráulicos

La integración de los resultados del modelo hidrológico en el modelo hidrodinámico desarrollado en HEC-RAS permitió simular la respuesta del sistema frente a distintos eventos de precipitación, evaluando así la dinámica del flujo en la Ciénaga del Totumo. Las simulaciones arrojaron mapas de vectores de velocidad para cada caudal pico, lo que permitió caracterizar el comportamiento hidráulico bajo distintos periodos de retorno y ubicaciones espaciales de la lluvia.

La
Figura 77 presenta los resultados de velocidad en la Ciénaga del Totumo bajo condiciones de operación con compuertas abiertas, considerando simultáneamente la acción del viento y los caudales generados por precipitaciones concentradas en la zona norte de la cuenca. En la parte superior, se muestra un acercamiento a la zona del canal de salida, donde se observa una marcada aceleración del flujo en las inmediaciones de las compuertas. Las velocidades alcanzan valores superiores a 2 m/s, representadas por los tonos amarillos y rojos, y disminuyen progresivamente a lo largo del canal, con valores que oscilan entre 0.3 y 1.5 m/s. Este comportamiento refleja la disipación de energía del flujo conforme se aleja de la estructura de control.

En la parte sur de la ciénaga las velocidades son más bajas, con un rango que varía entre 0.08 y 0.5 m/s en el cuerpo principal. Sin embargo, se identifican zonas con mayores velocidades —mayores a 1 m/s— principalmente en los bordes y áreas de entrada de los tributarios, donde el ingreso de caudales pico genera una dinámica más activa. Estas zonas podrían ser relevantes en términos de erosión localizada o re-suspensión de sedimentos.

En conjunto, los escenarios evaluados reflejan que el comportamiento hidráulico de la ciénaga varía notablemente en función del periodo de retorno y la distribución espacial de la precipitación. Eventos más extremos generan aumentos significativos en las velocidades, principalmente en el canal de salida y las bocas de los arroyos. Las zonas internas del sistema, en cambio, mantienen un régimen de flujo lento, lo que favorece la sedimentación de partículas finas. Este patrón confirma la naturaleza amortiguadora del cuerpo de agua.

Asimismo, se observó que cuando la precipitación se concentra en la zona norte de la cuenca, los aportes hídricos a la ciénaga son más reducidos, debido a que varias subcuencas en esa zona no alimentan directamente a los tributarios considerados. En cambio, los escenarios con lluvia en la parte media de la cuenca generan contribuciones más significativas desde todos los arroyos modelados. Para la zona sur, el arroyo Ronco, ubicado en el sector sur, es el único que aporta de forma notable. Esta variabilidad espacial resalta la importancia de incorporar diferentes configuraciones hidrológicas para representar adecuadamente la respuesta del sistema y apoyar la toma de decisiones en la gestión hídrica y sedimentológica del sistema.

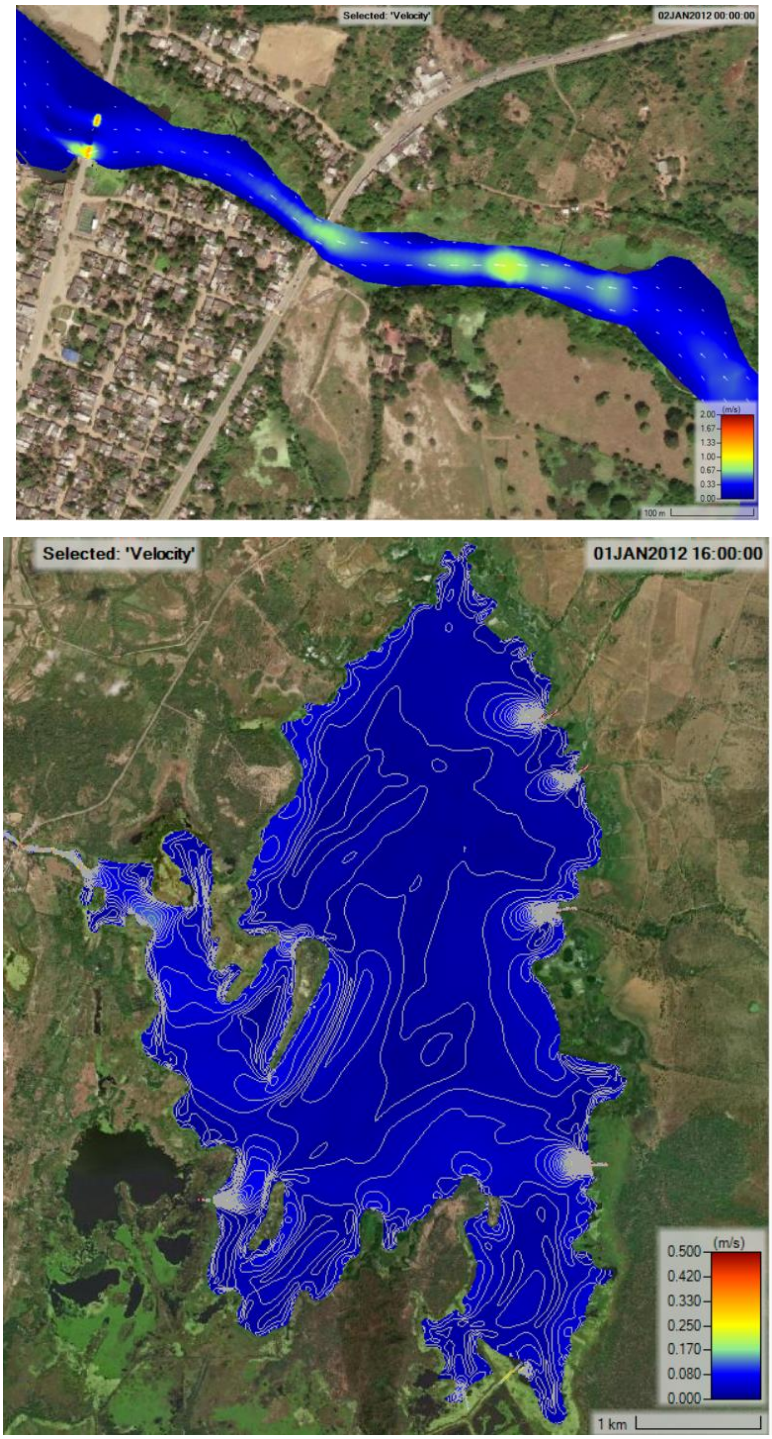


Figura 78. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=2 años, Zona norte.

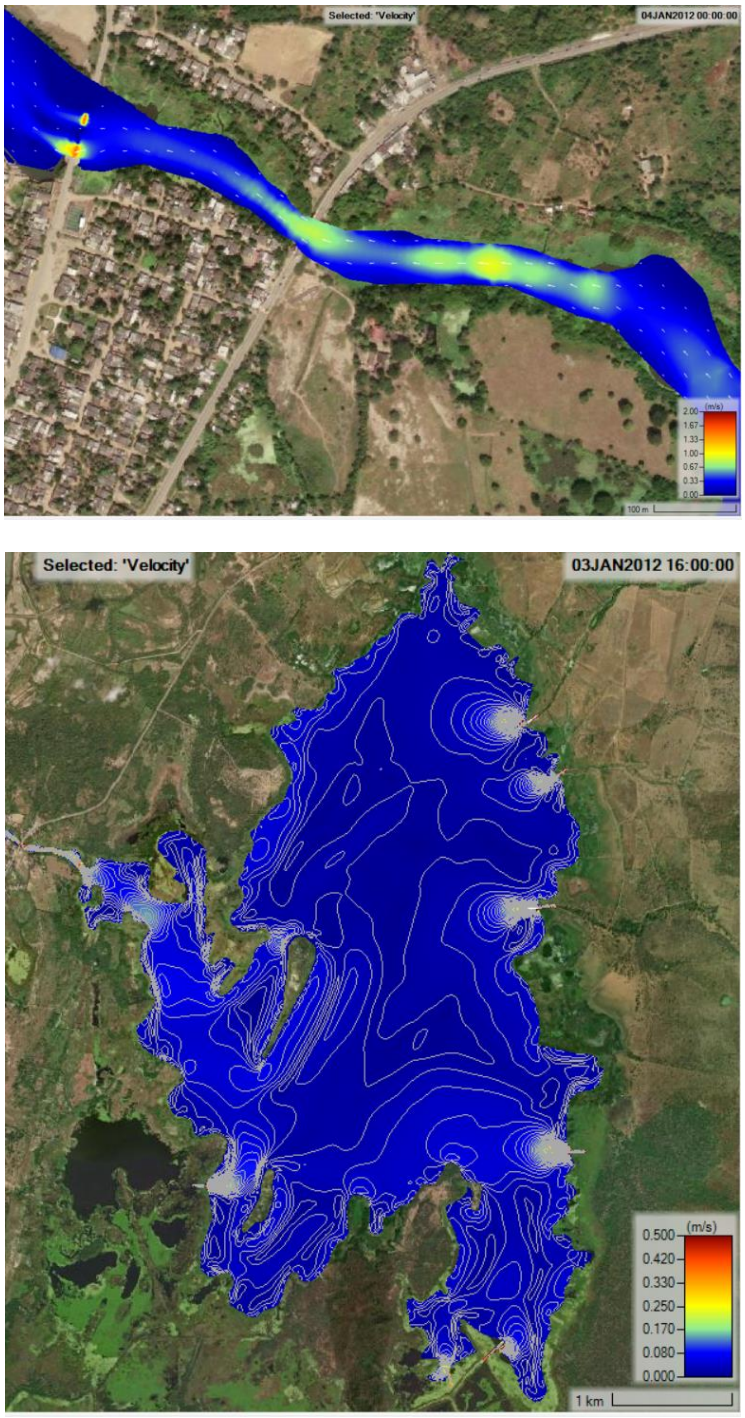


Figura 79. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=5 años, Zona norte.

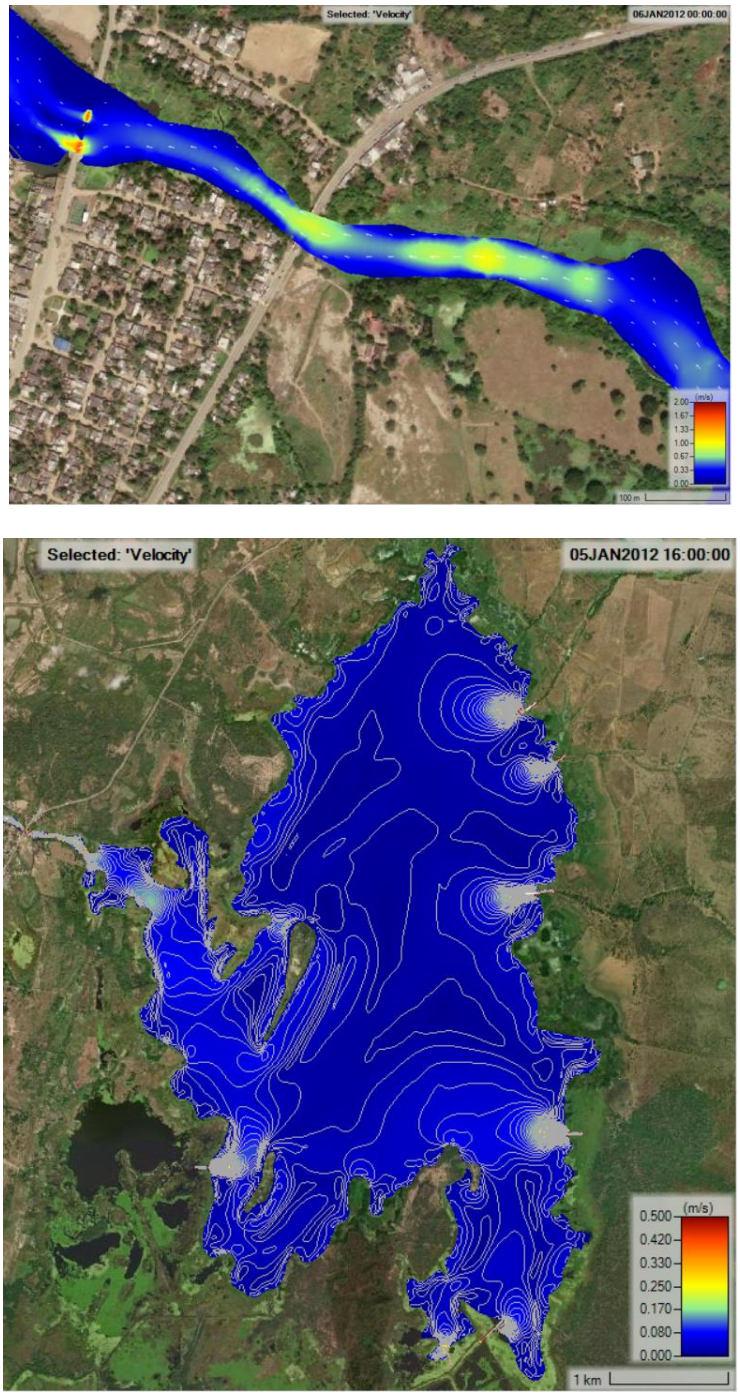


Figura 80. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=10 años, Zona norte.

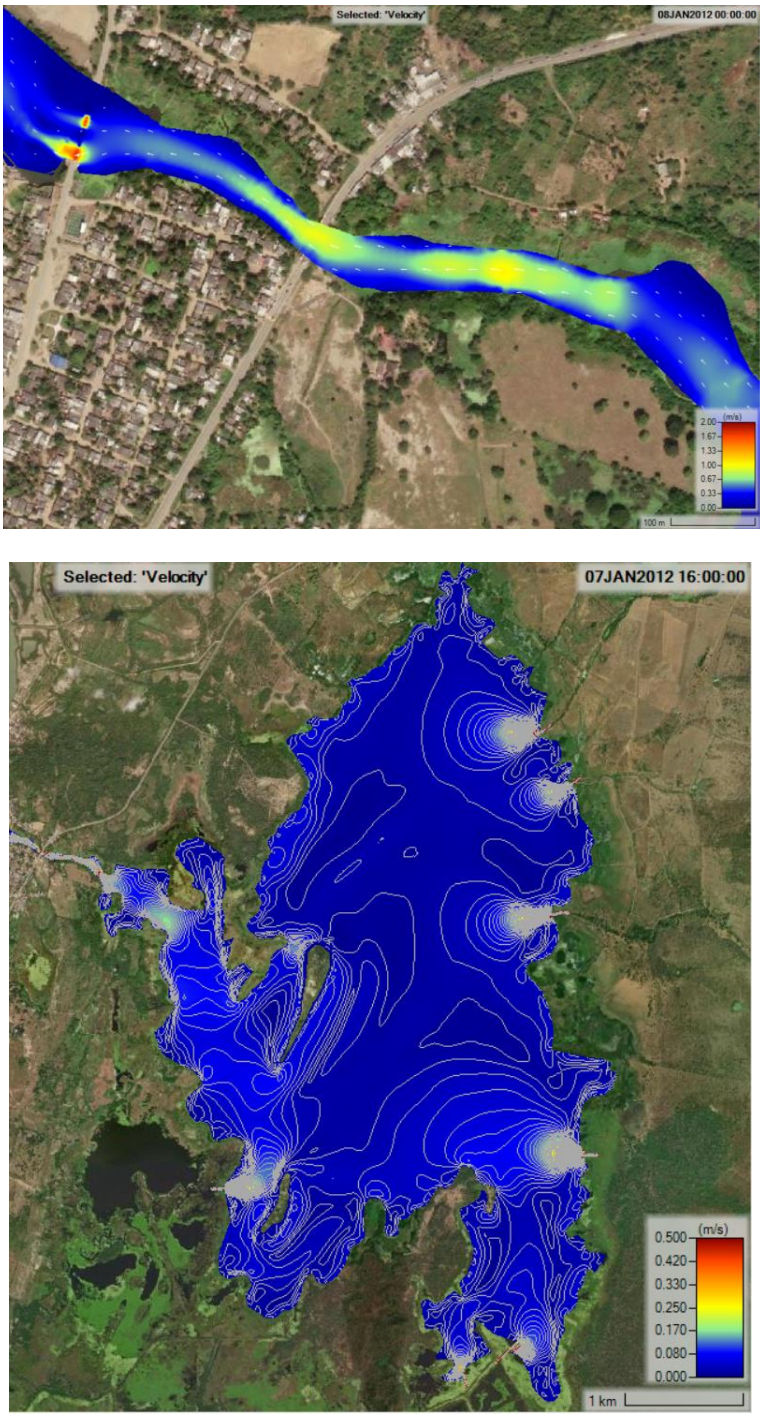


Figura 81. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=25 años, Zona norte.

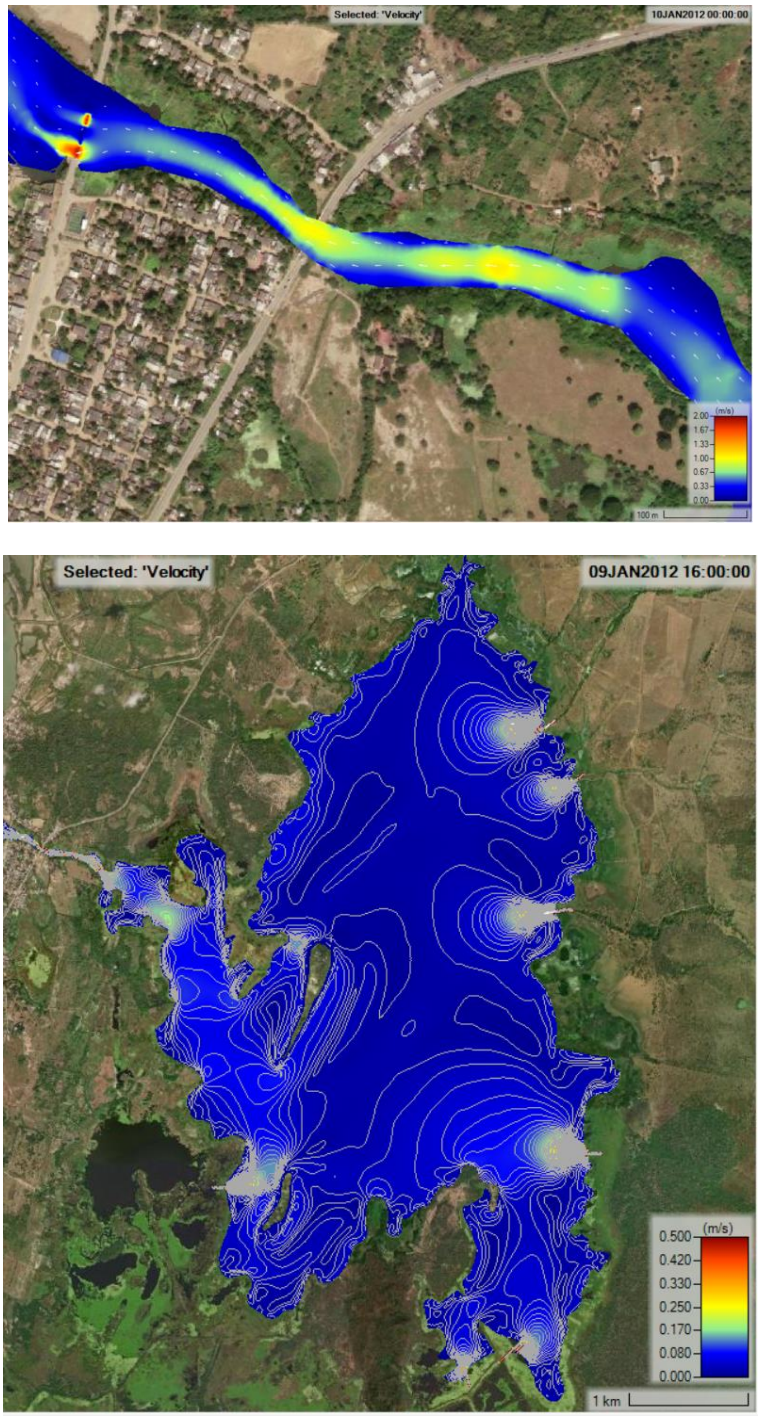


Figura 82. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=50 años, Zona norte.

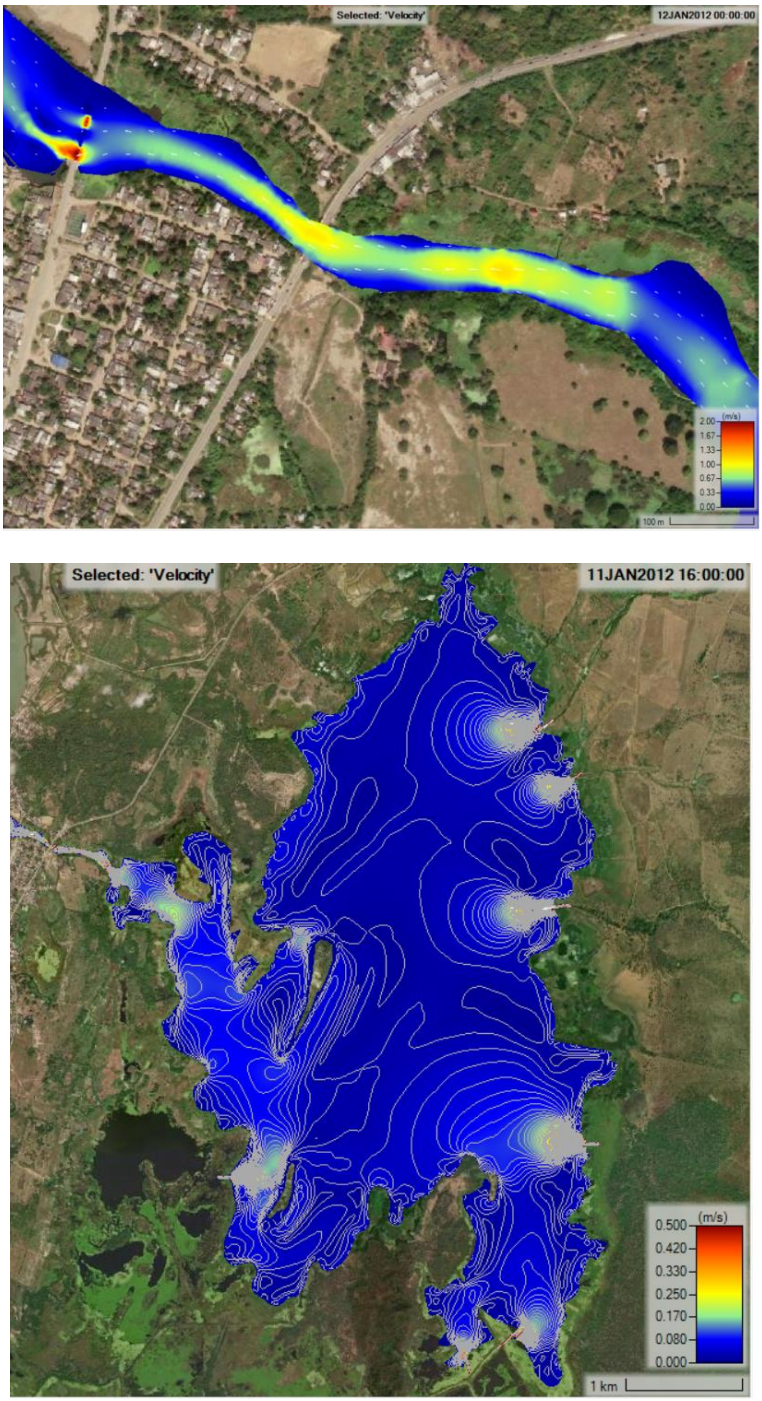


Figura 83. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=100 años, Zona norte.

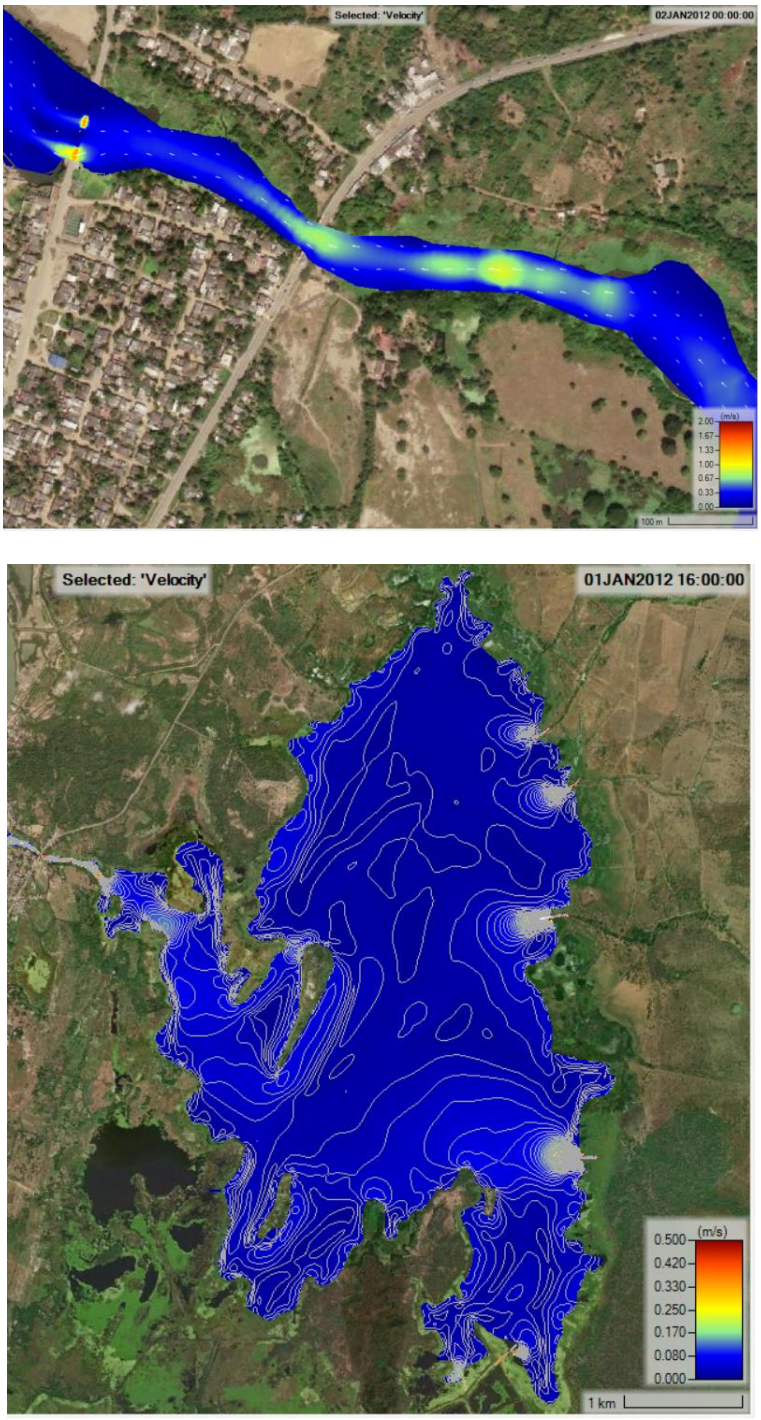


Figura 84. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=2 años, Zona Media.

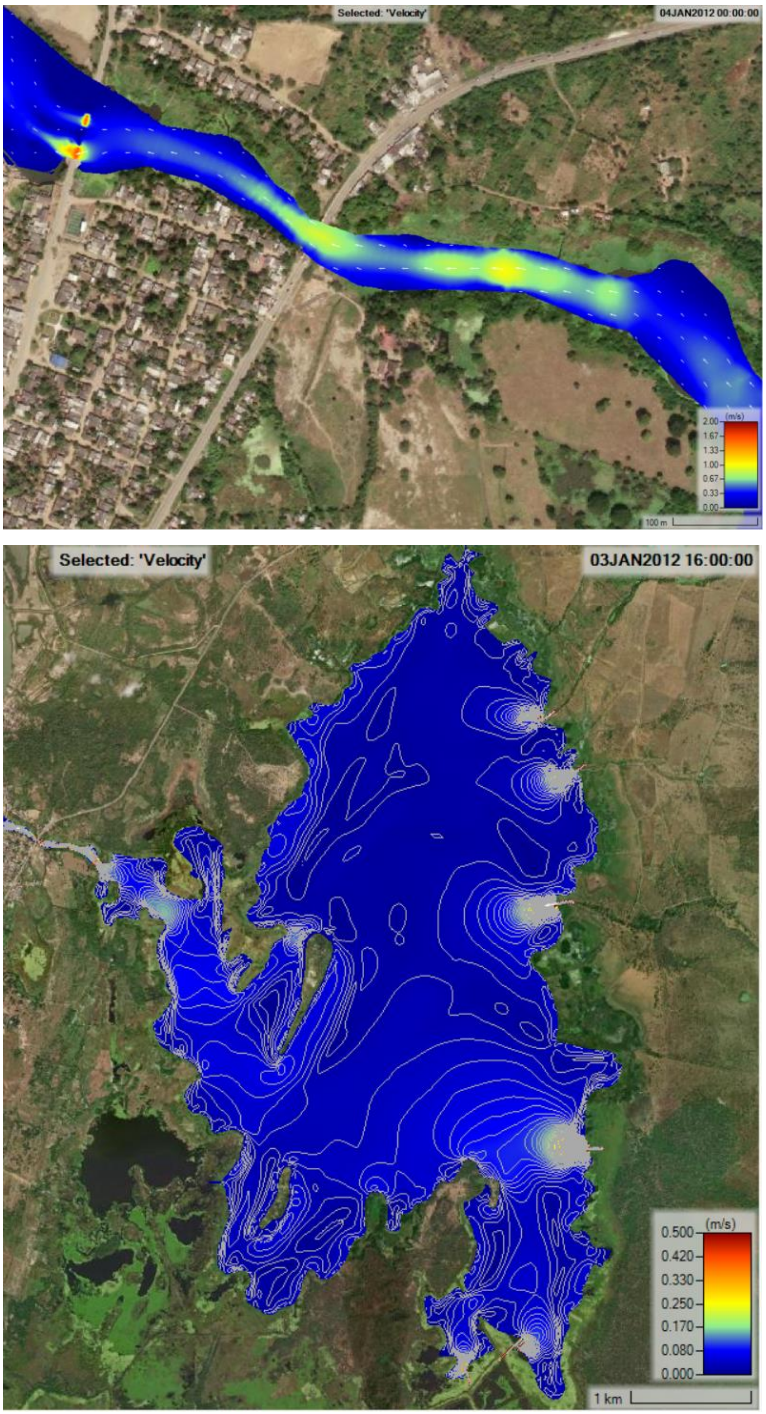


Figura 85. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=5 años, Zona Media.

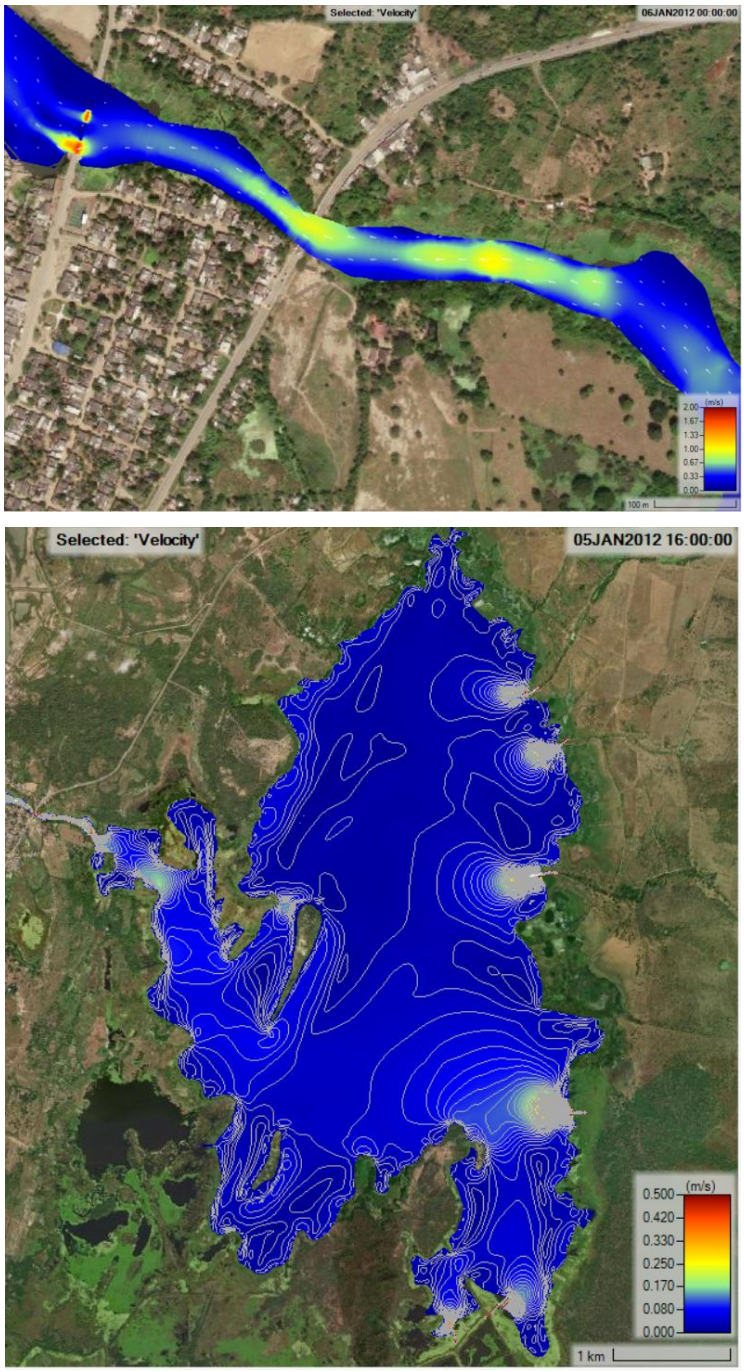


Figura 86. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=10 años, Zona Media.

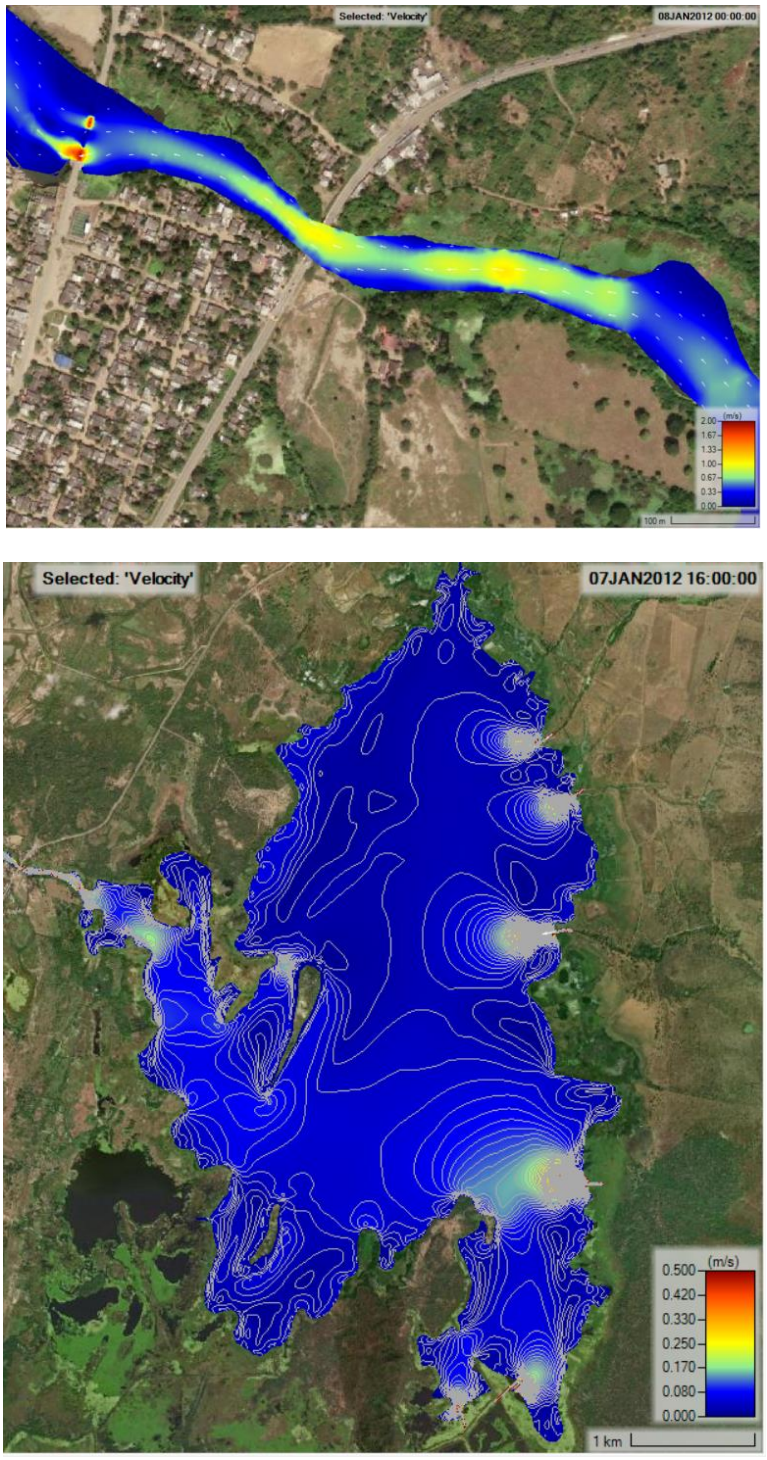


Figura 87. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=25 años, Zona Media.

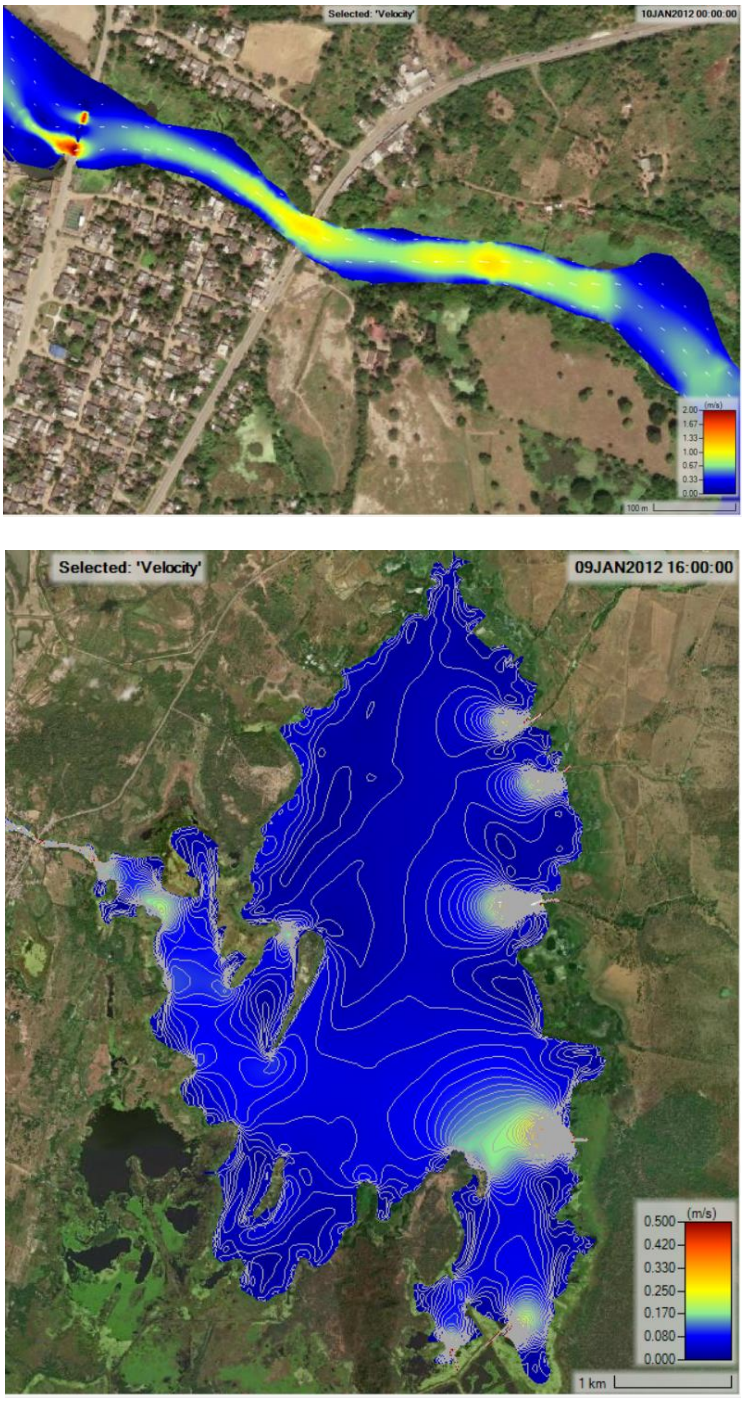


Figura 88. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=50 años, Zona Media.

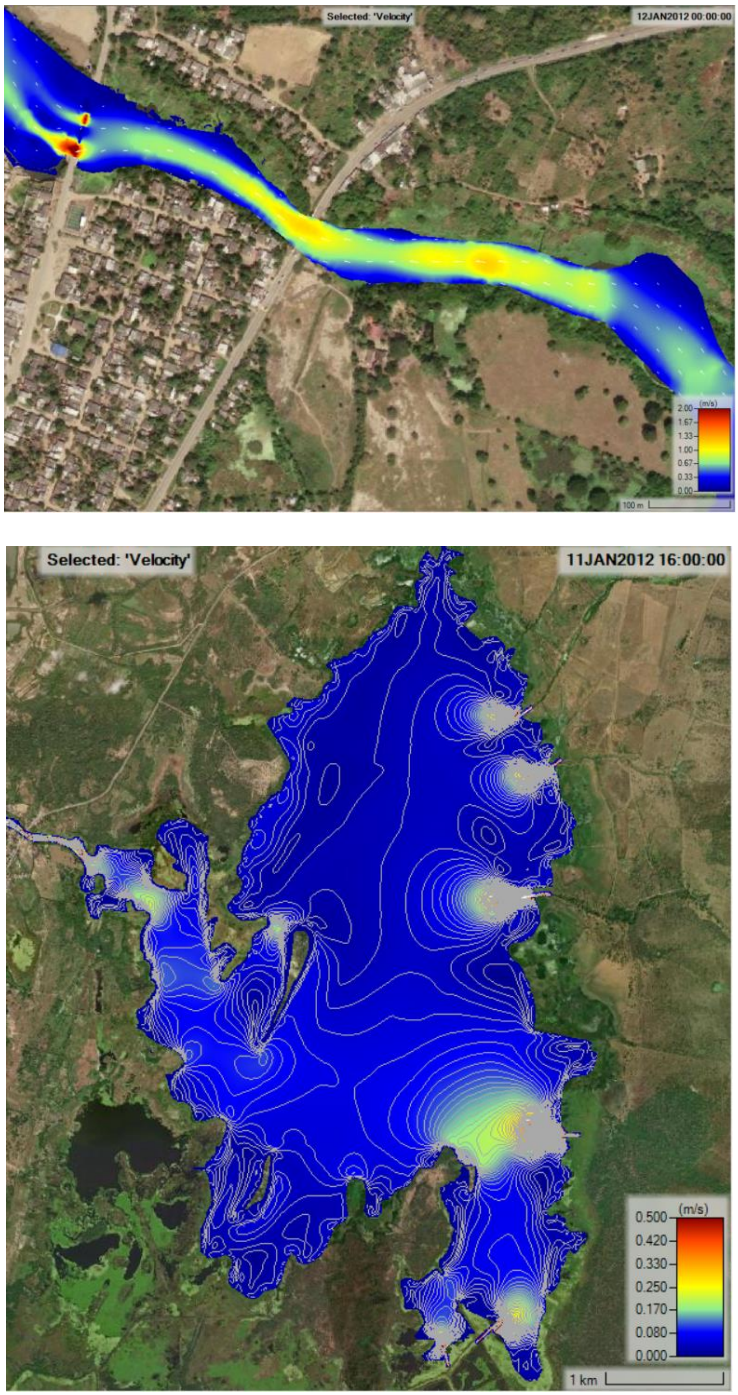
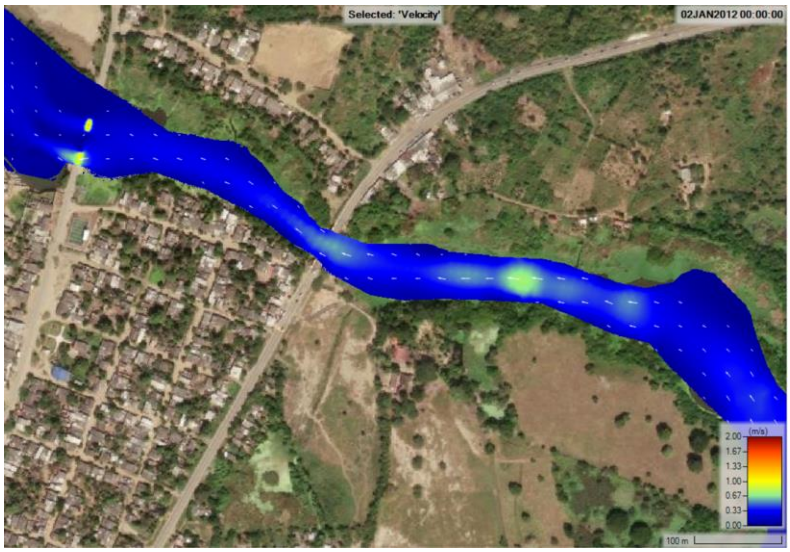


Figura 89. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=100 años, Zona Media.



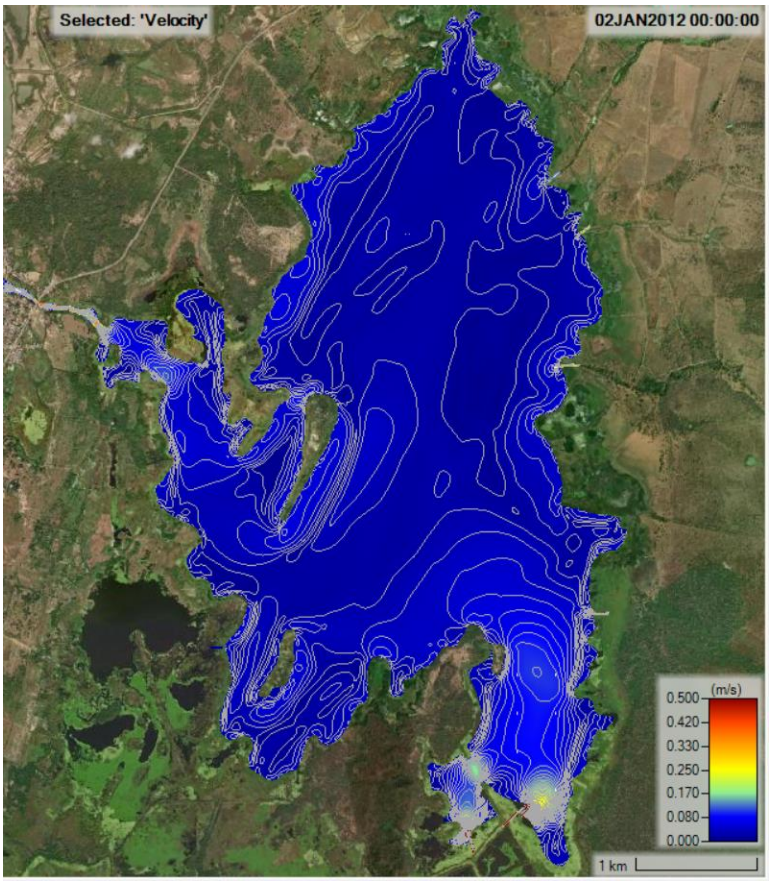


Figura 90. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=2 años, Zona sur.

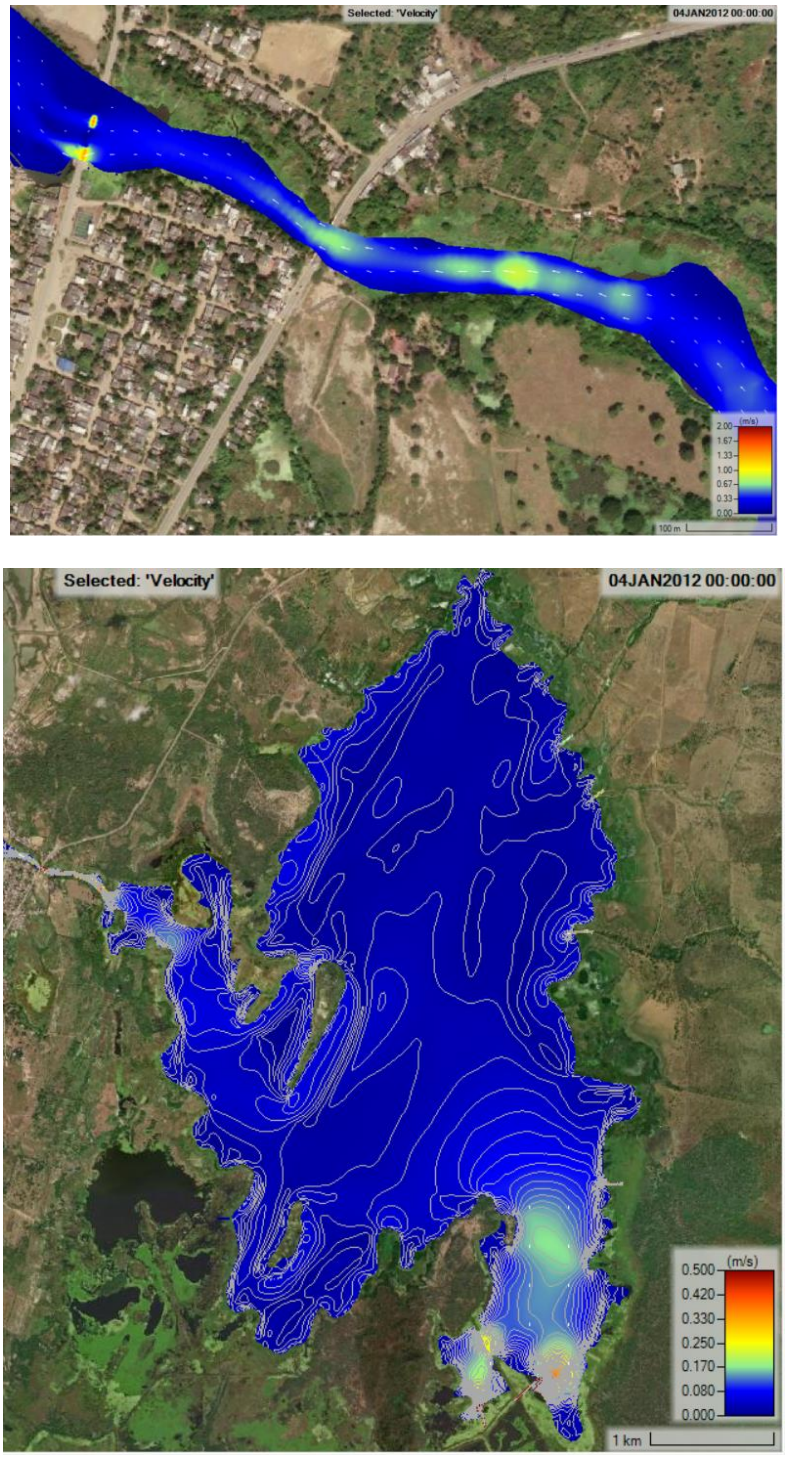


Figura 91. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=5 años, Zona sur.

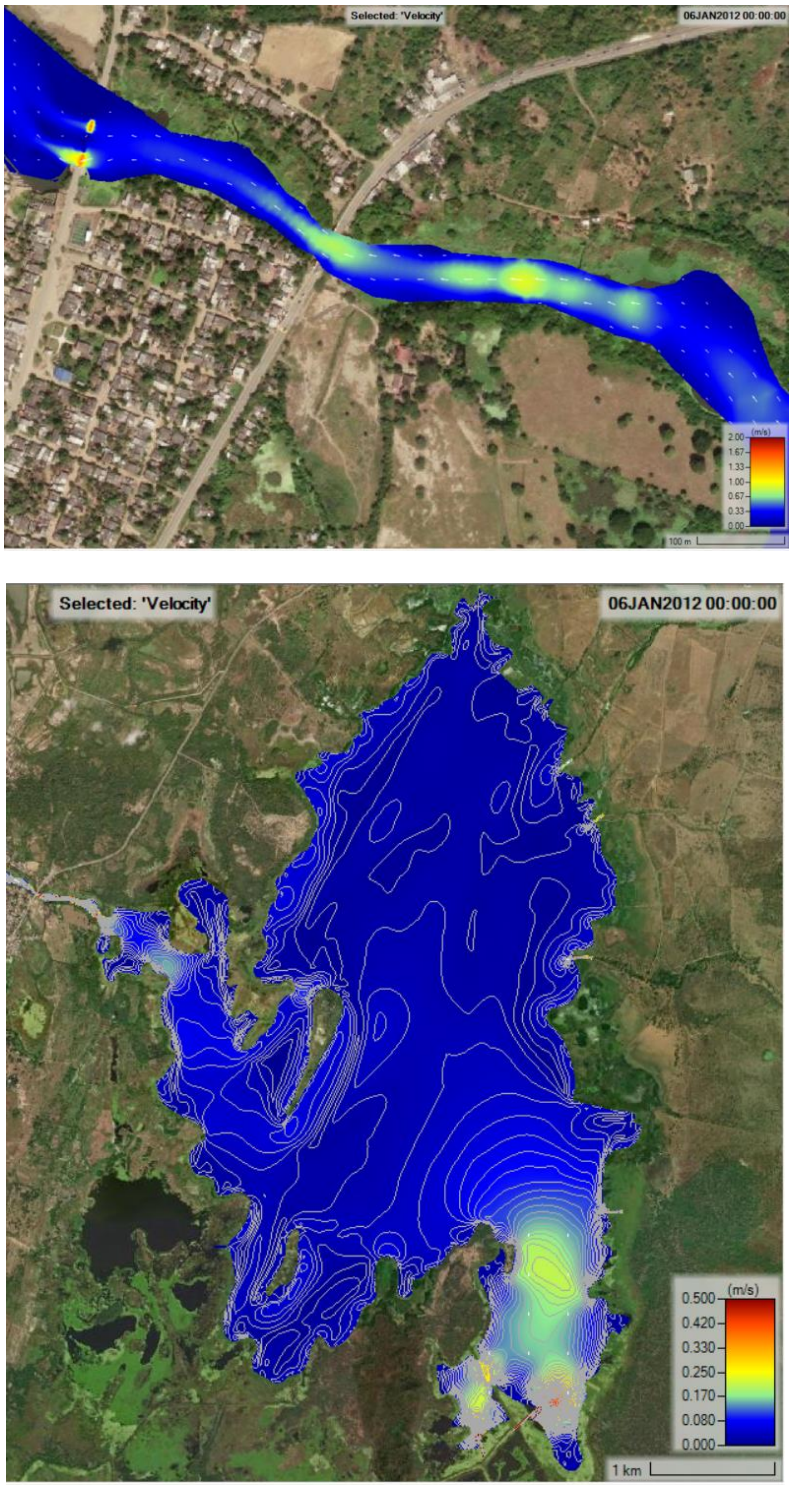


Figura 92. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=10 años, Zona sur.

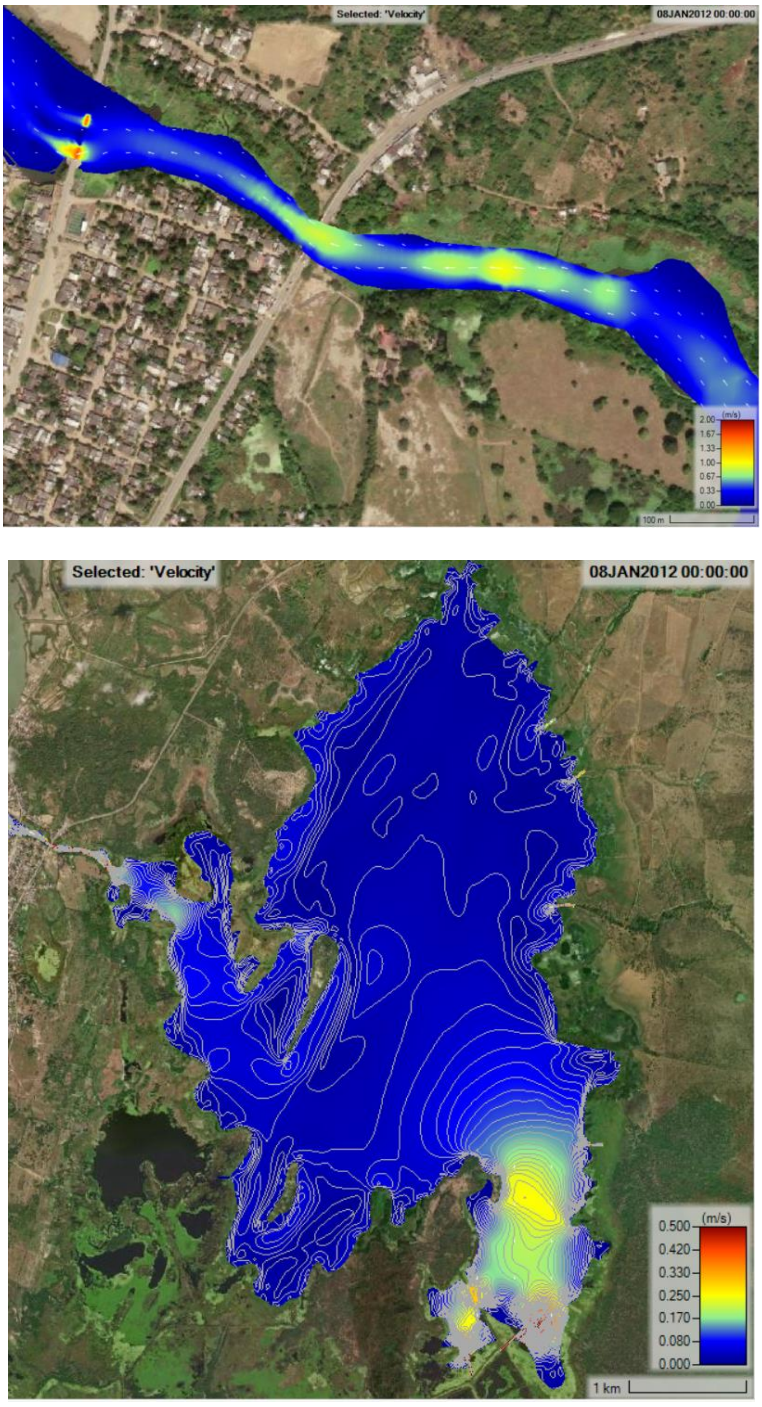


Figura 93. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=25 años, Zona sur.

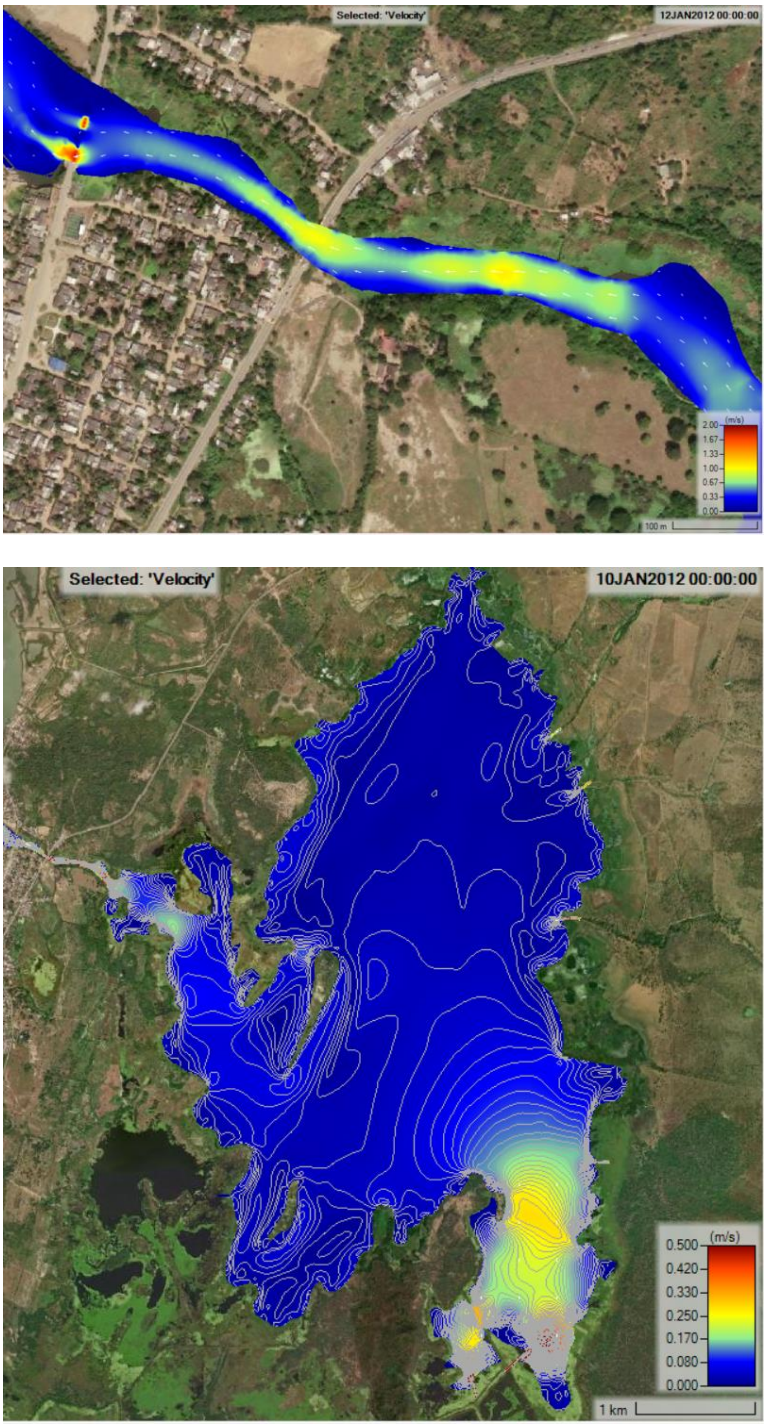


Figura 94. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=50 años, Zona sur.

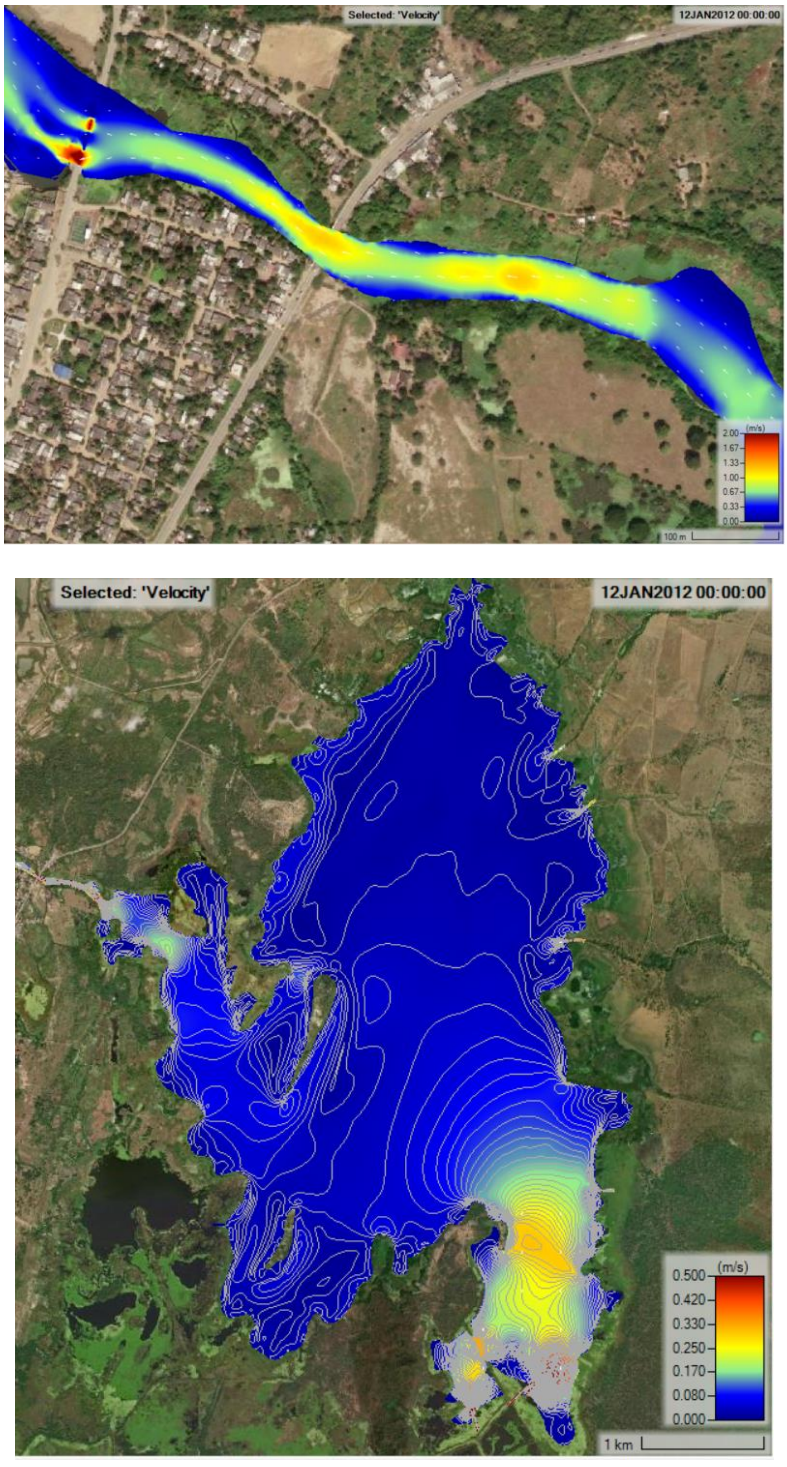


Figura 95. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=100 años, Zona sur.

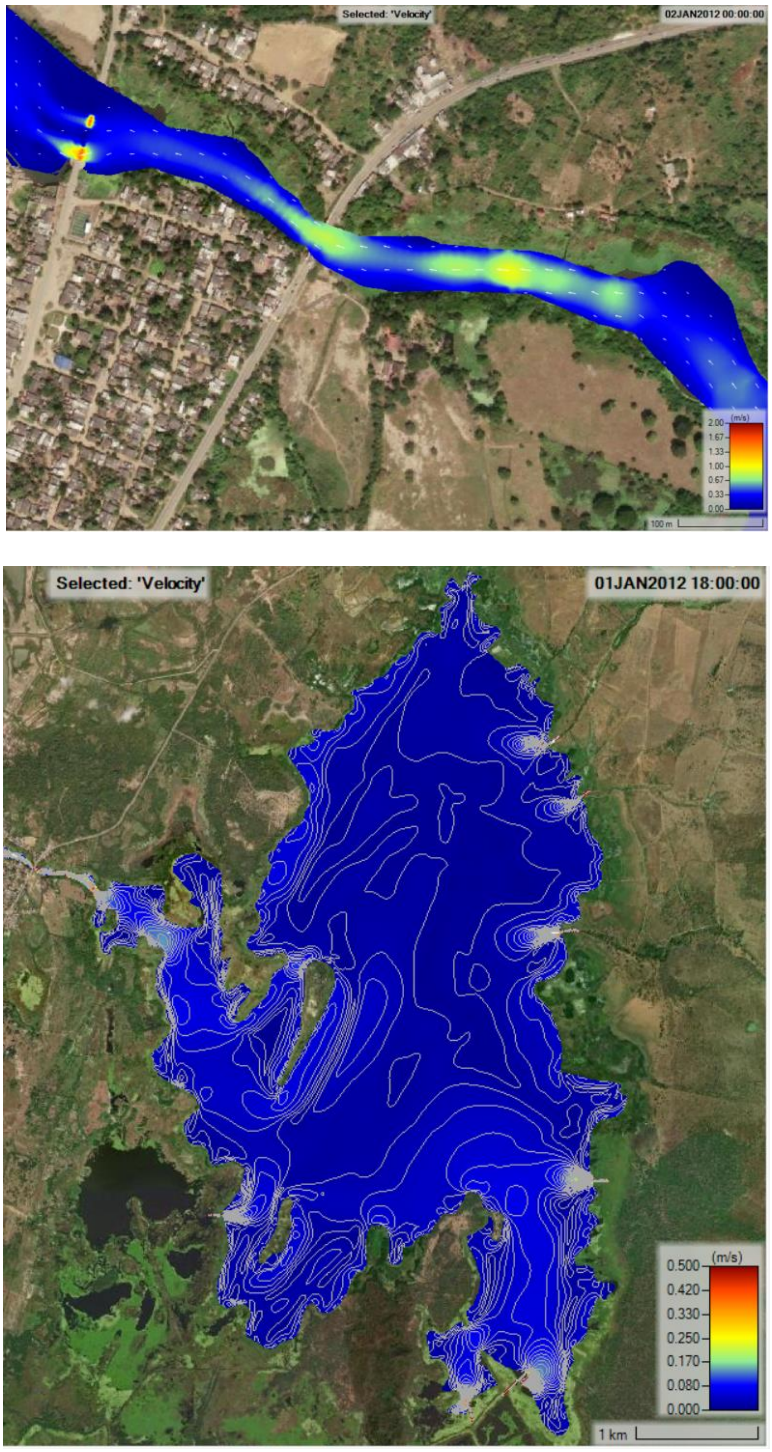


Figura 96. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=2 años.

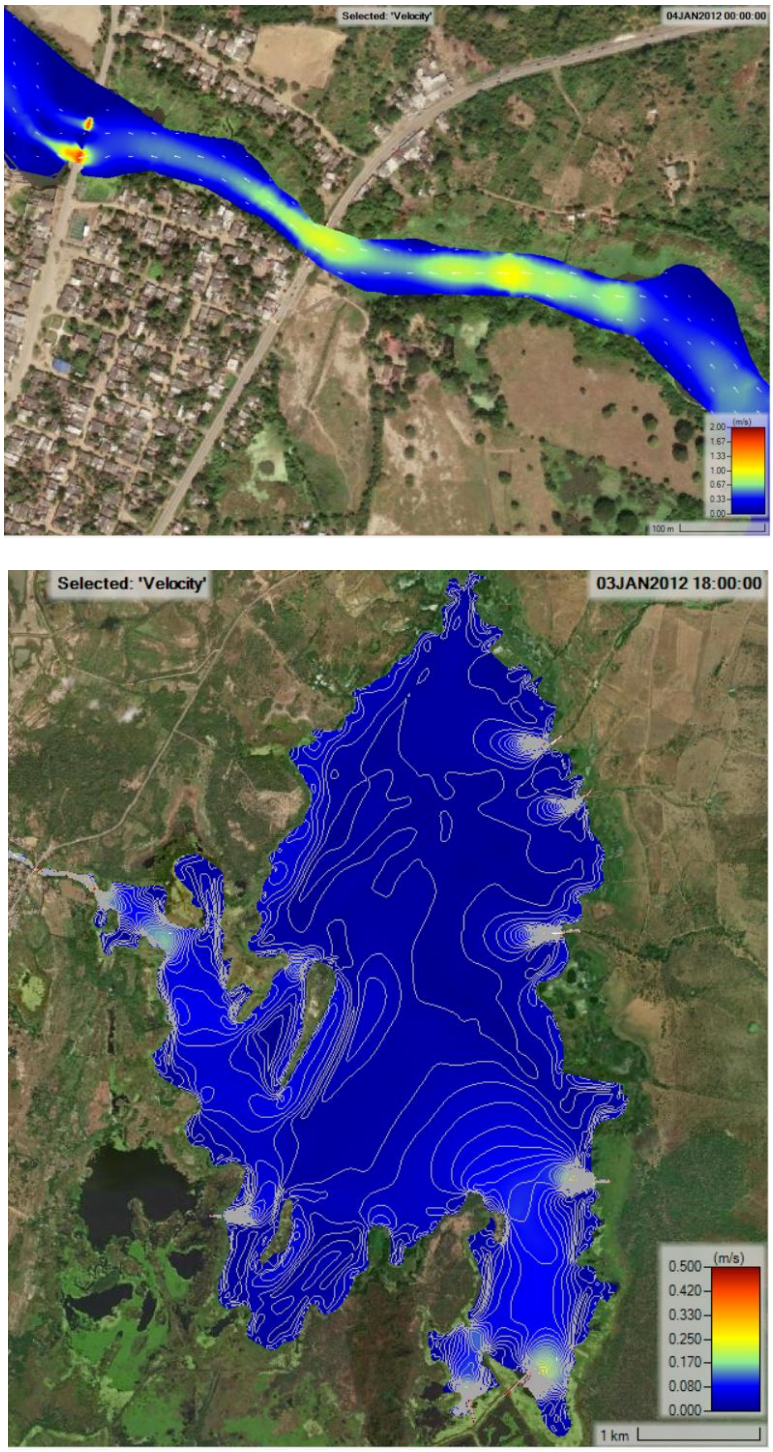


Figura 97. Mapa de velocidades en Canal de Salida y Ciénaga del Totumo. T=5 años.

7 Estimación de la tasa potencial de erosión de cuenca: Método de RUSLE

La Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE, por sus siglas en inglés) es una herramienta ampliamente utilizada para estimar la erosión hídrica en diferentes tipos de terrenos. Este modelo es una versión mejorada de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y se expresa mediante la siguiente fórmula (Renard et al, 1997):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

A: Pérdida de suelo promedio anual (toneladas por hectárea por año).

R: Factor de erosividad de la lluvia, que mide el impacto de la intensidad y cantidad de las precipitaciones en la erosión del suelo.

K: Factor de erodabilidad del suelo, que indica la susceptibilidad del suelo a la erosión bajo condiciones estándar.

LS: Factor topográfico, que combina la longitud (L) y la inclinación (S) de la pendiente para reflejar su influencia en la erosión.

C: Factor de cobertura y manejo de la vegetación, que representa el efecto de las prácticas de cultivo y la cobertura vegetal en la protección del suelo contra la erosión.

P: Factor de prácticas de conservación, que evalúa la eficacia de las medidas implementadas para reducir la erosión, como terrazas o barreras vegetativas.

Cada uno de estos factores se determina a partir de datos específicos del sitio de estudio, como registros climáticos, características del suelo, topografía, uso del suelo y prácticas de manejo. La RUSLE ha sido adaptada y utilizada en diversas regiones y condiciones, proporcionando una estimación cuantitativa de la pérdida de suelo. Esta pérdida tasa potencial de la erosión de la cuenca sirve como una primera estimación hacia la determinación de la cantidad de suelo que se erosiona y finalmente termina llegando al cuerpo de agua principal el cual en este caso es la Ciénaga del Totumo. En los siguientes subcapítulos se hará una descripción general de cada uno de los factores que intervienen en esta ecuación y cómo han sido adoptados para efectos de este estudio

7.1 Factor de erosividad de la lluvia (R)

Representa la capacidad de la lluvia para causar erosión. Depende de la cantidad de precipitación y de su intensidad durante un periodo determinado. Generalmente, se calcula usando la energía cinética de las lluvias y la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}). La ecuación más común es la formulación planteada por Wishmeier y Smith (1978) que luego fue revisada por Renard et al. (1997). A continuación, se presenta la ecuación general para el cálculo del factor de erosividad de la lluvia:

$$R = \sum E_i \cdot I_{30}$$

Donde:

E_i: energía cinética de cada evento de lluvia.

I_{30}: la intensidad máxima en 30 minutos

En regiones con lluvias torrenciales frecuentes, el valor de R será mayor, indicando una mayor predisposición a la erosión.

Para el caso de estudio de la ciénaga del Totumo, y en general a nivel nacional, no existen muchas estaciones capaces de medir la lluvia de manera incremental. Lo que dificulta el cálculo de la intensidad máxima en 30 minutos, los datos de estaciones pluviométricas del IDEAM se encuentra en resolución temporal diaria.

Para el presente estudio se utilizaron las estimaciones del factor de erosividad de la lluvia propuestos por Ávila, B., & Ávila H. (2015) para diferentes estaciones pluviométricas cercanas a la zona del proyecto. Este estudio estima el factor de erosividad de la lluvia (R) en el departamento del Atlántico, usando datos diarios de lluvia de 16 estaciones. El estudio usó datos de alta resolución de la estación del Aeropuerto Ernesto Cortissoz en el área metropolitana de barranquilla, la cual posee datos incrementales de eventos de tormenta y los correlacionó con datos diarios de otras estaciones en el Atlántico, entre estas estaciones se encuentran las de Piojó, Hibacharo, Casa bomba y Loma Grande que ofrecen información también para la cuenca de la ciénaga del Totumo.

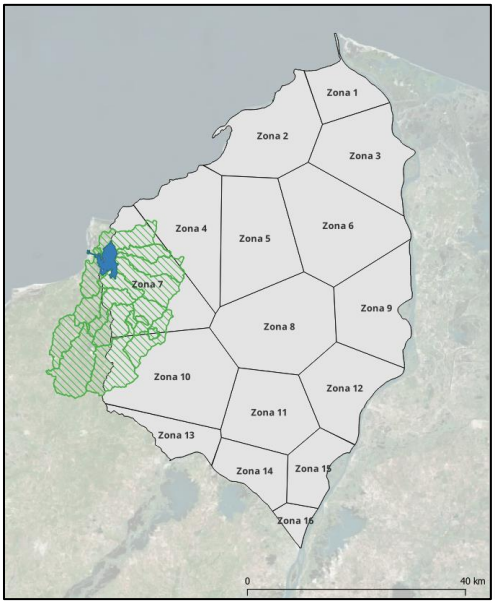


Table 1. Erosivity factor R for the department of Atlántico ($MJ \cdot mm \cdot Ha^{-1} \cdot Hr^{-1} \cdot yr^{-1}$)

Station	Zone	Erosivity Factor R
Las Flores	1	7,228
Puerto Colombia	2	8,991
Aeropuerto	3	6,966
Piojó	4	10,009
Usiacurí	5	7,291
Polonuevo	6	10,786
Hibacharo	7	10,235
Sabanalarga	8	9,372
Ponedera	9	9,808
Casa Bomba	10	6,735
Normal Manatí	11	7,915
Puerto Giraldo	12	9,532
Loma Grande	13	7,229
Hacienda el Rabón	14	10,187
Campo de la Cruz	15	6,732
San Pedrito	16	7,892

Figura 98. Zonas definidas en estudio consultado, cuenca de la ciénaga del Totumo y valores del factor R anuales por zonas.
Fuente: Ávila, B., & Ávila H. (2015).

En este estudio además se presentan la distribución temporal (en periodos de 15 días aproximadamente) del factor de erosividad de la lluvia. Así con base en esta información se produjeron mapas de distribución de este factor en la cuenca de la ciénaga del Totumo la interpolación utilizada fue Kriging, con herramientas SAGA en QGIS. En la Figura **99** se observa la variación del valor del factor R promedio anual, y de las Figura **100** a la Figura **103** se presentan la distribución del factor R promedio mensual.

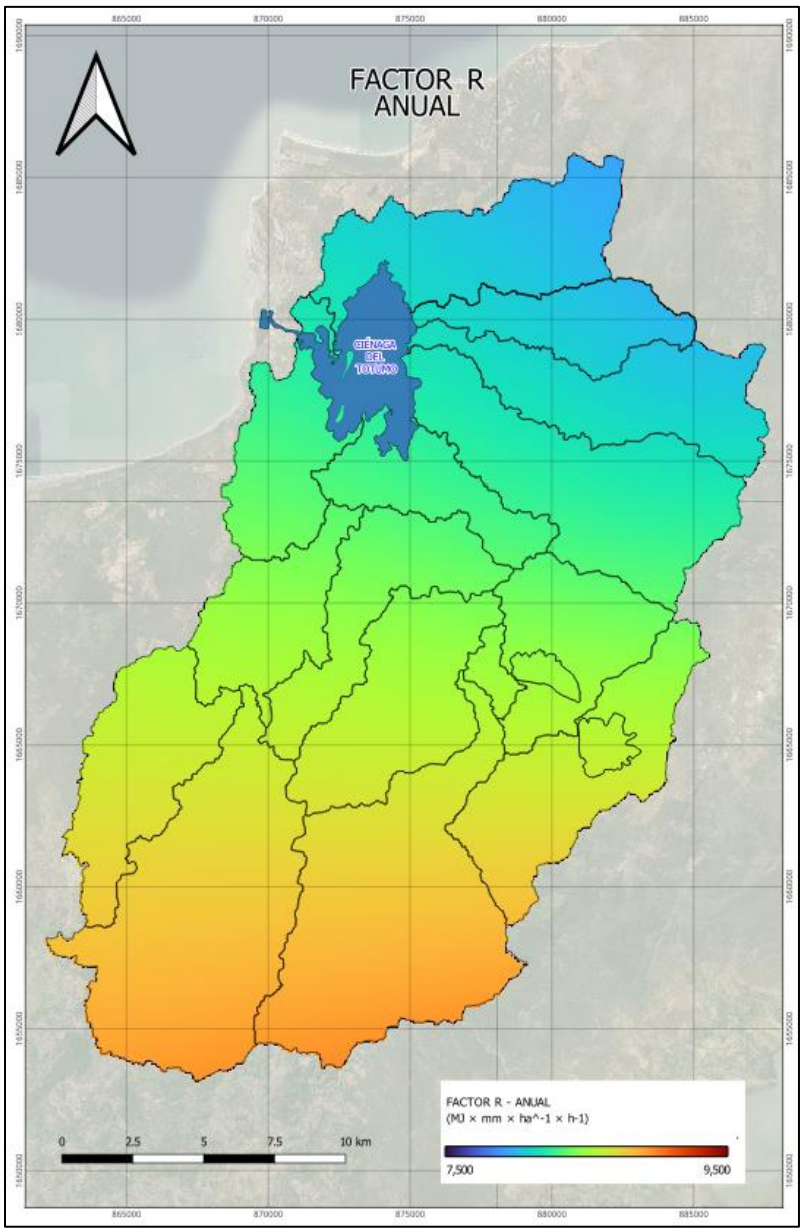


Figura 99. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo anual.
Fuente: Elaboración propia.

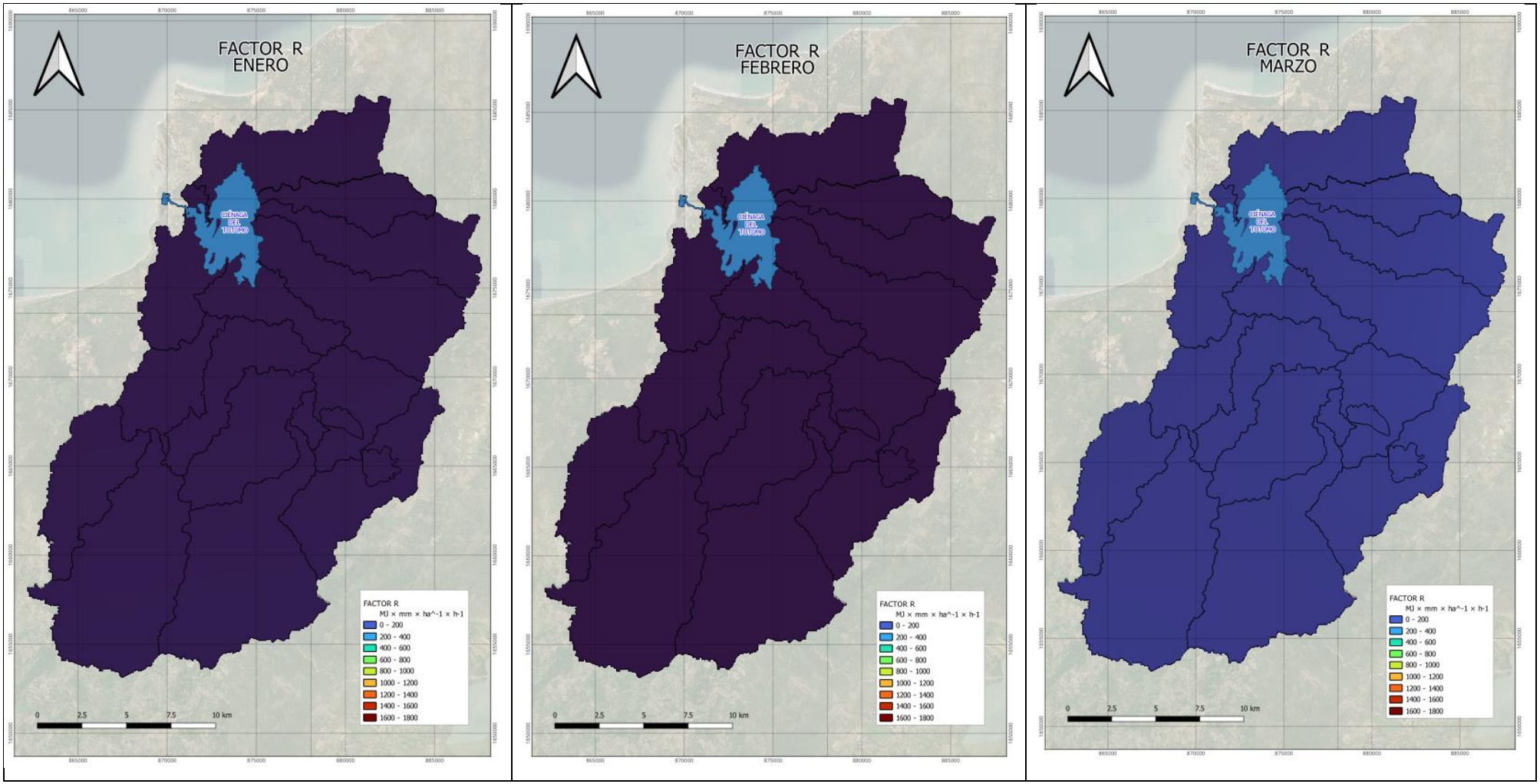


Figura 100. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo, meses de enero, febrero, marzo.
Fuente: Elaboración propia.

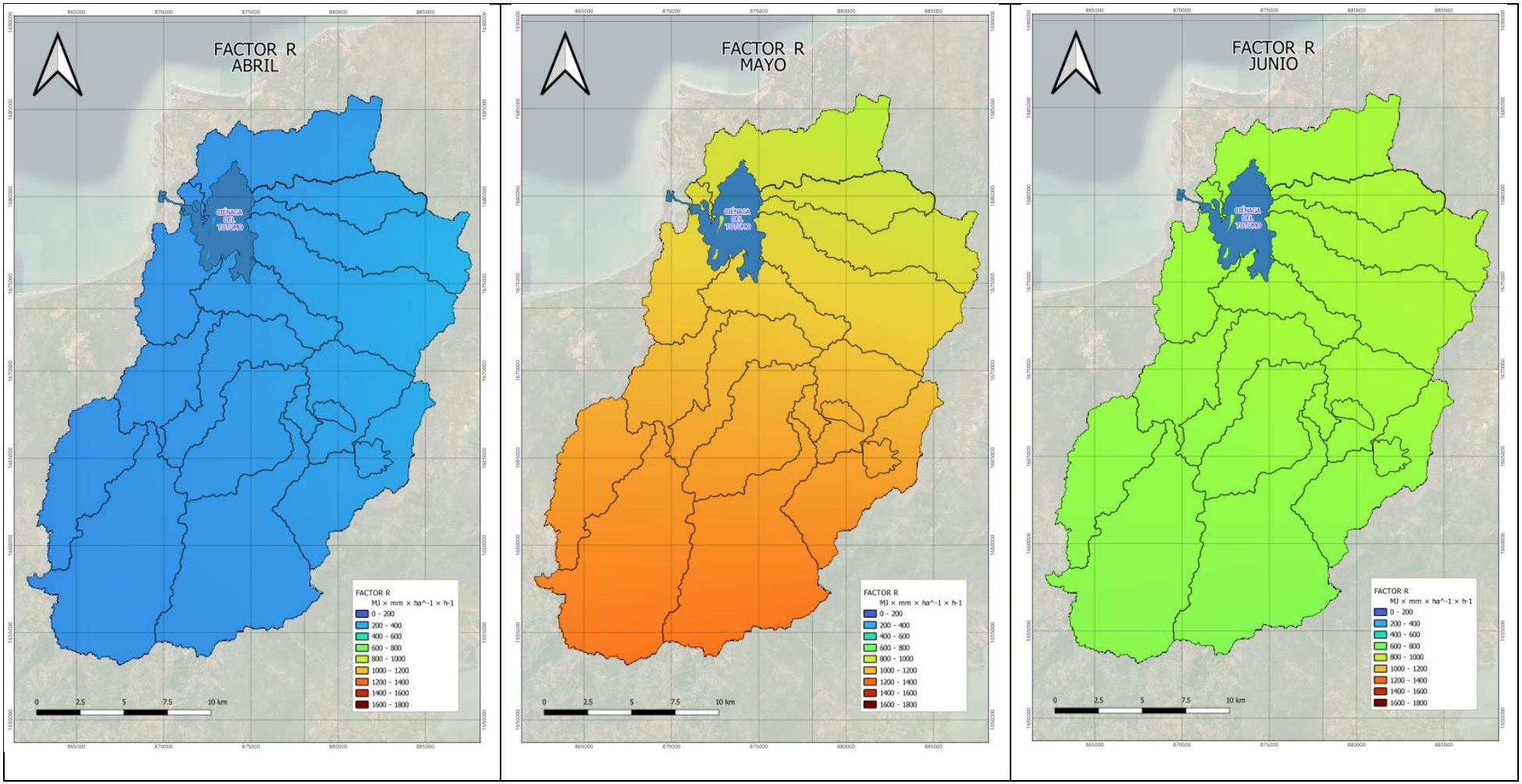


Figura 101. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo, meses de abril, mayo, junio.
Fuente: Elaboración propia.

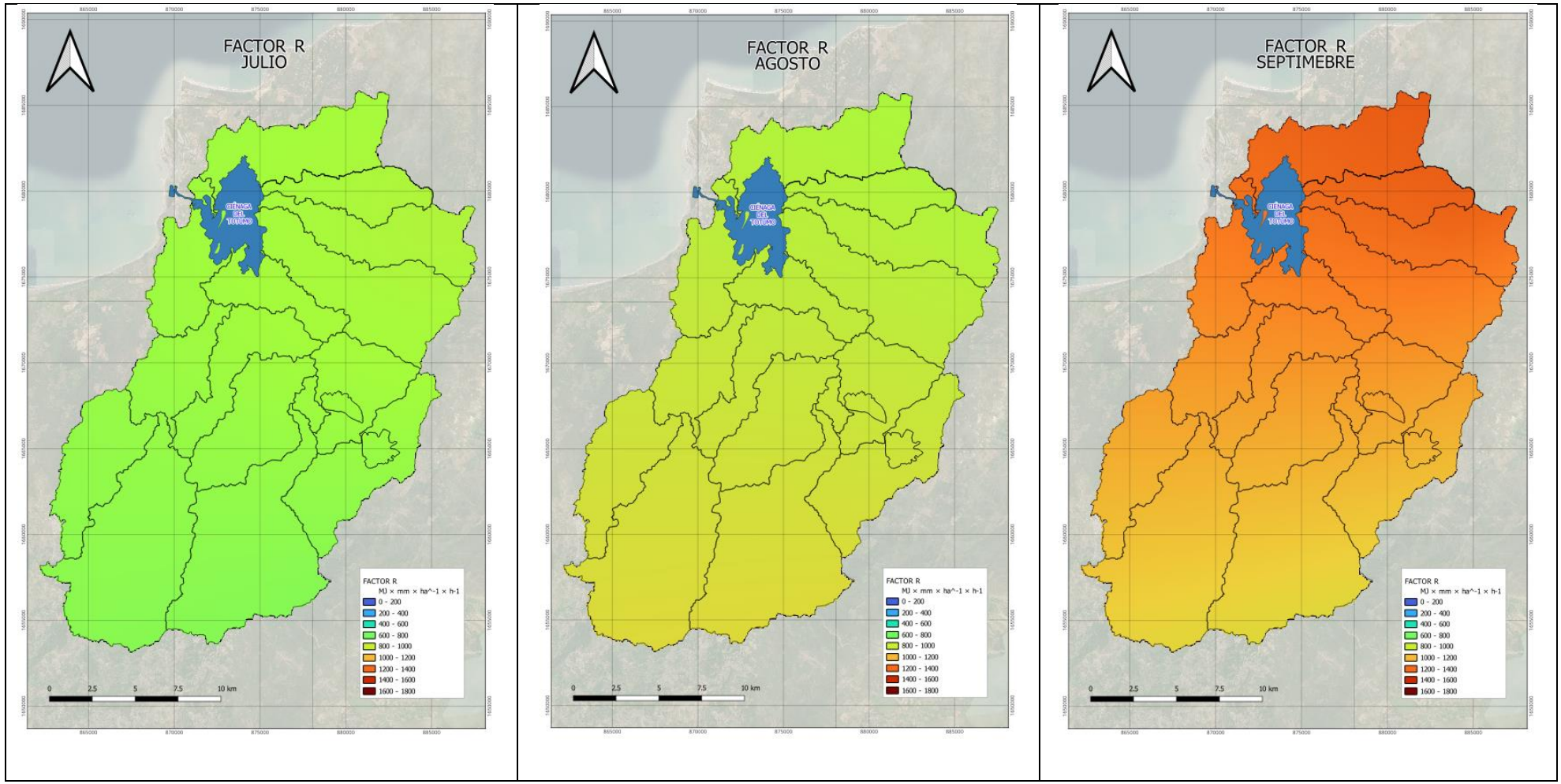


Figura 102. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo, meses de julio, agosto, septiembre.
Fuente: Elaboración propia.

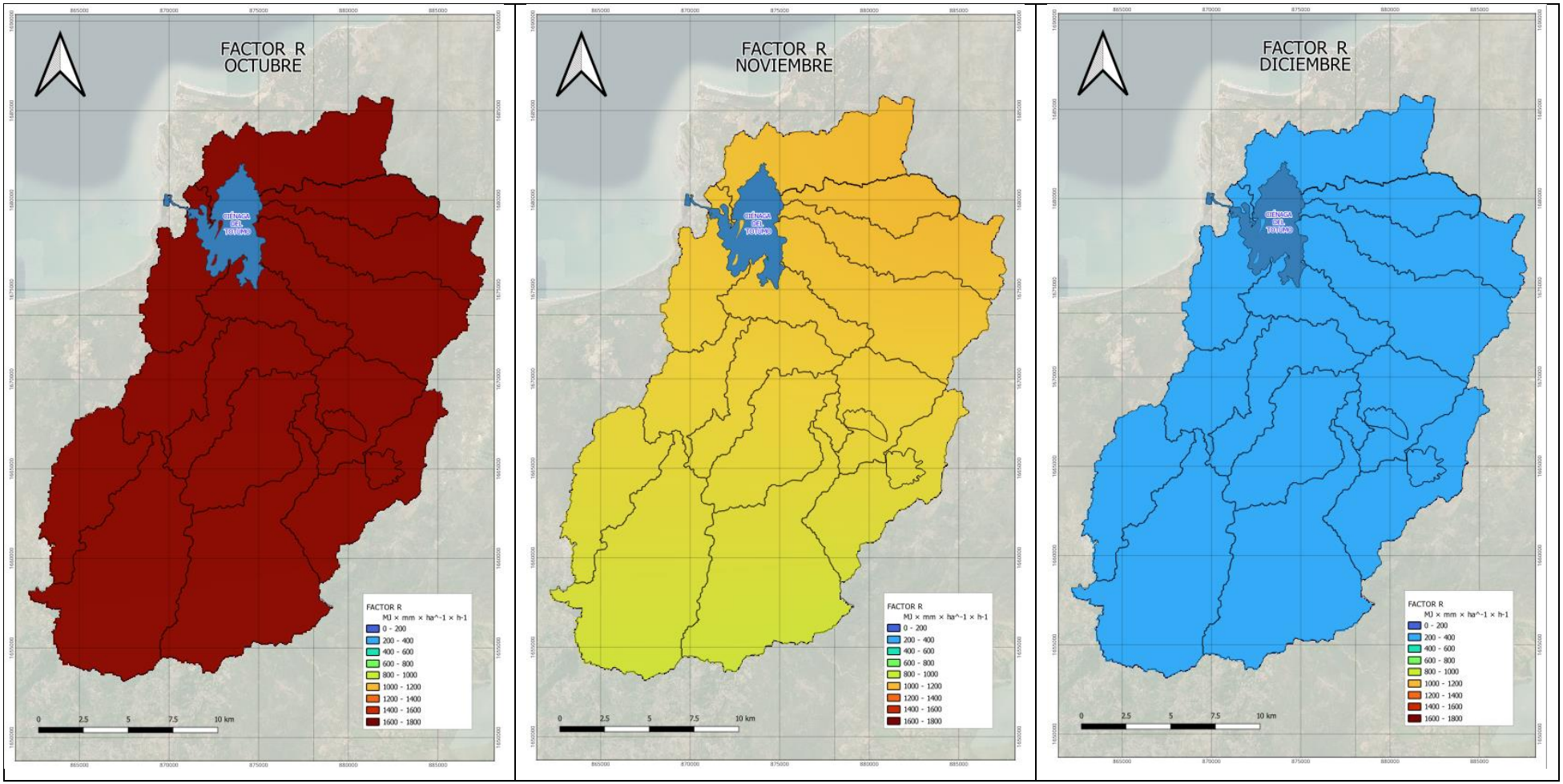


Figura 103. Factor R para la cuenca de la ciénaga del Totumo, meses de octubre, noviembre y diciembre.
Fuente: Elaboración propia.

7.2 Factor de erodabilidad del suelo (K)

Es un parámetro agrupado que representa el valor anual promedio de la reacción total del suelo y del perfil del suelo a la erosión y a procesos hidrológicos. Estos procesos incluyen el desprendimiento y transporte de partículas por impacto de gotas de lluvia y flujo superficial, la deposición localizada debido a la topografía y la rugosidad inducida por la labranza y la infiltración del agua de lluvia en el perfil del suelo. El factor de erodabilidad del suelo (K) es la tasa de pérdida de suelo por unidad del índice de erosión de la lluvia, expresado en toneladas por hectárea por unidad de índice de erosión. Este valor se mide en una parcela de referencia. La parcela de referencia tiene una longitud de 22.1 metros (72.6 ft), una pendiente del 9% y se encuentra en una condición de barbecho limpio, con la labranza realizada en dirección ascendente y descendente de la pendiente (Wischmeier y Smith, 1978).

En términos prácticos, el factor de erodabilidad del suelo representa la respuesta promedio a largo plazo del suelo y su perfil ante las fuerzas erosivas de las tormentas de lluvia. Es un parámetro agregado que refleja un valor promedio anual integrado de la reacción total del suelo y su perfil frente a diversos procesos de erosión e hidrología. Estos procesos incluyen el desprendimiento y transporte del suelo por el impacto de las gotas de lluvia y el flujo superficial, la deposición localizada debido a la topografía y la rugosidad causada por la labranza, así como la infiltración de agua de lluvia en el perfil del suelo.

El factor K está influenciado por las propiedades físicas, químicas y mineralógicas del suelo, así como sus interacciones. Los mecanismos de erosión que operan simultáneamente se relacionan de manera diferente con una propiedad específica del suelo. Para suelos de textura media, la nomografía es la mejor relación predictiva para estimar el factor K.

La ecuación utilizada para calcular el valor K con la nomografía de erosividad del suelo fue planteada por Wischmeier y Smith (1978):

$$K = [2.1 \cdot 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)]/100$$

Donde:

M: producto de las fracciones del tamaño de partícula primaria ($\%\ limos\ de\ 0.002 - 0.1mm \times \%limos\ y\ arenas$).

OM: materia orgánica.

s: código para la estructura del suelo.

p: código para la permeabilidad del suelo.

Las unidades del factor de erodabilidad del suelo (K) arrojados por la ecuación deben ser llevadas a unidades del sistema internacional $\left[\frac{Ton \cdot Ha \cdot hr}{Ha \cdot MJ \cdot mm}\right]$, para ello se aplica la metodología planteada por Castro, Cabrera & Villareal (2022).

Tabla 26 Propiedades de apiques y ajuste de factor K

APIQUE N°	D50	CLASIFICACION	s	p	% OM	M	K (imperial)	K (SI)
1	0.09	SC	2	4	6	20.6	0.0033	0.0044
2	NA	CL	2	4	6	10.6	0.0033	0.0044
3	NA	CL	2	4	6	11.3	0.0033	0.0044
4	0.95	SP SC	3	2	6	6.1	0.0010	0.0013
5	NA	CH	1	6	6	7.7	0.0056	0.0074
6	NA	CL	2	4	6	12.6	0.0033	0.0044
7	0.8	SC-SM	3	2	6	5.8	0.0010	0.0013
8	NA	CH	1	6	6	20	0.0056	0.0074
9	NA	CH	1	6	6	1.8	0.0056	0.0074
10	NA	CL	2	4	6	12.9	0.0033	0.0044
11	NA	CL	2	4	6	11.6	0.0033	0.0044
12	NA	CH	1	6	6	5.4	0.0056	0.0074
13	NA	CH	1	6	6	1.3	0.0056	0.0074
14	NA	CL	2	4	6	9.2	0.0033	0.0044
15	NA	CH	1	6	6	1.4	0.0056	0.0074
16	0.09	SM	3	2	6	36.9	0.0011	0.0014
17	NA	CL	2	4	6	0.7	0.0033	0.0043
18	NA	CL	2	4	6	7.3	0.0033	0.0044
19	NA	CL	2	4	6	11.8	0.0033	0.0044
20	NA	CL	2	4	6	10.7	0.0033	0.0044
21	0.09	SM	2	4	6	21.2	0.0033	0.0044
22	NA	CH	1	6	6	3.2	0.0056	0.0074
23	NA	CH	1	6	6	4.2	0.0056	0.0074
24	NA	CH	1	6	2.08	20	0.0057	0.0075
25	NA	CL	2	4	6	5.5	0.0033	0.0044
26	NA	CL	2	4	6	4.5	0.0033	0.0043
27	0.19	SC-SM	3	2	6	13.4	0.0010	0.0013

APIQUE N°	D50	CLASIFICACION	s	p	% OM	M	K (imperial)	K (SI)
28	0.53	SC-SM	3	2	6	8.5	0.0010	0.0013
29	NA	CL	2	4	6	16.9	0.0033	0.0044
30	NA	CL	2	4	6	6.9	0.0033	0.0044

A partir de la información granulométrica tomada en campo se establecieron los valores del factor de erodabilidad del suelo que permitirían la corrección de la distribución geoespacial del factor K tomada de la información satelital “OpenLandMap Soil Texture Class (USDA System)”. Este último fue el utilizado en el cálculo del potencial de erosión.

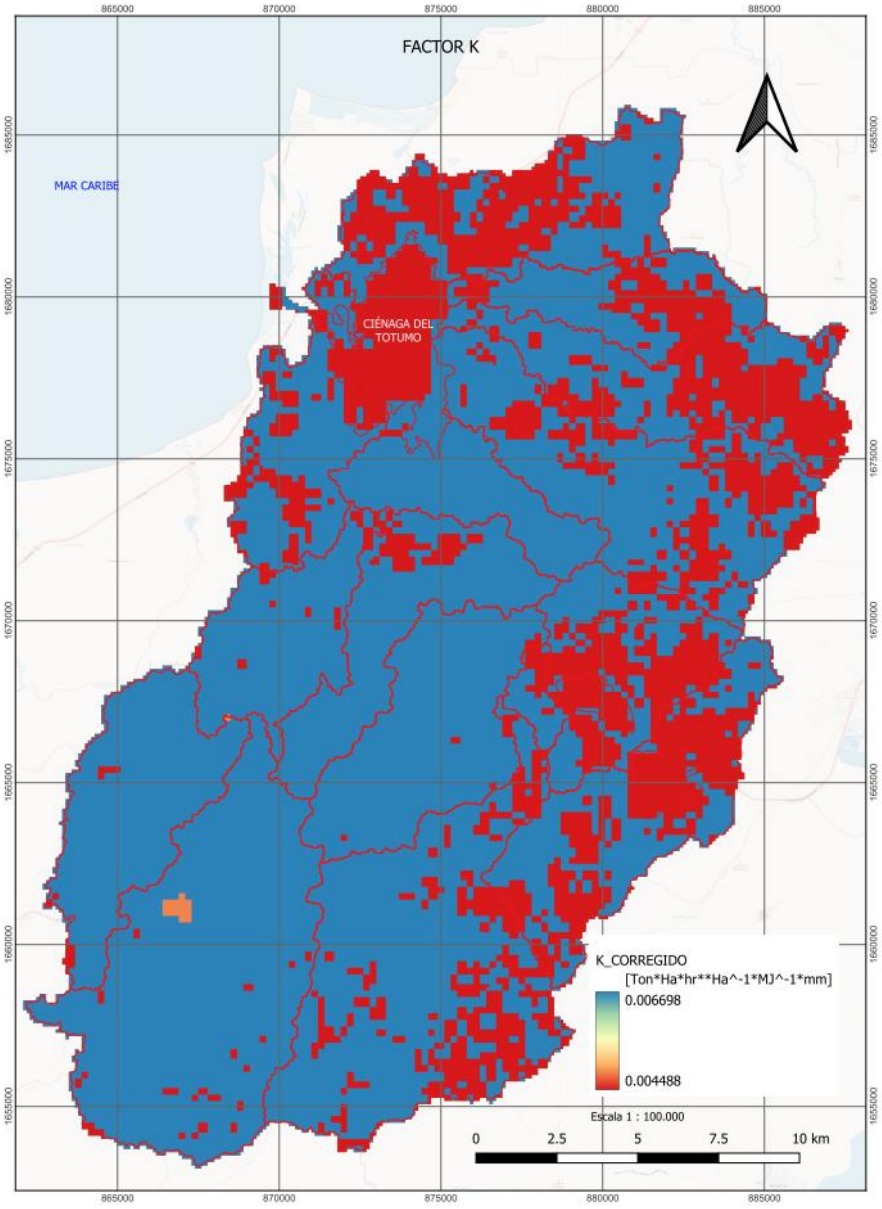


Figura 104. Mapa de valores del factor de erodabilidad del suelo (K) para la cuenca de la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

7.3 Factor topográfico (LS)

Combina la longitud de la pendiente (L) y la inclinación (S) para describir la influencia de la topografía en la erosión. Cuanto más larga y empinada es la pendiente, mayor será el riesgo de erosión. La longitud de la pendiente se refiere a la distancia en la que la escorrentía fluye sobre la superficie de la tierra, y la inclinación de la pendiente es la pendiente del terreno. El factor LS es la relación de la pérdida de suelo de un sitio con una longitud e inclinación de la pendiente determinada, a la pérdida correspondiente de un sitio estándar con una longitud de 72.6 pies y una pendiente del 9%.

Los valores de este factor se encuentran tabulados para diferentes longitudes (distancia en planta, no inclinadas) y diferentes valores de pendiente. En la Figura 105 se presentan los valores calculados por Renard et al (1997), este factor es adimensional.

Table 4-1.
Values for topographic factor, LS, for low ratio of rill to interrill erosion.[1]

	Horizontal slope length (ft)																
Slope (%)	<3	6	9	12	15	25	50	75	100	150	200	250	300	400	600	800	1000
0.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.5	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
1.0	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17
2.0	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.21	0.23	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.33	0.34	0.35
3.0	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.29	0.33	0.36	0.38	0.40	0.43	0.44	0.46	0.48	0.52	0.55	0.57
4.0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.36	0.43	0.46	0.50	0.54	0.58	0.61	0.63	0.67	0.74	0.78	0.82
5.0	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.44	0.52	0.57	0.62	0.68	0.73	0.78	0.81	0.87	0.97	1.04	1.10
6.0	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.50	0.61	0.68	0.74	0.83	0.90	0.95	1.00	1.08	1.21	1.31	1.40
8.0	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.64	0.79	0.90	0.99	1.12	1.23	1.32	1.40	1.53	1.74	1.91	2.05
10.0	0.60	0.63	0.65	0.66	0.68	0.81	1.03	1.19	1.31	1.51	1.67	1.80	1.92	2.13	2.45	2.71	2.93
12.0	0.61	0.70	0.75	0.80	0.83	1.01	1.31	1.52	1.69	1.97	2.20	2.39	2.56	2.85	3.32	3.70	4.02
14.0	0.63	0.76	0.85	0.92	0.98	1.20	1.58	1.85	2.08	2.44	2.73	2.99	3.21	3.60	4.23	4.74	5.18
16.0	0.65	0.82	0.94	1.04	1.12	1.38	1.85	2.18	2.46	2.91	3.28	3.60	3.88	4.37	5.17	5.82	6.39
20.0	0.68	0.93	1.11	1.26	1.39	1.74	2.37	2.84	3.22	3.85	4.38	4.83	5.24	5.95	7.13	8.10	8.94
25.0	0.73	1.05	1.30	1.51	1.70	2.17	3.00	3.63	4.16	5.03	5.76	6.39	6.96	7.97	9.65	11.04	12.26
30.0	0.77	1.16	1.48	1.75	2.00	2.57	3.60	4.40	5.06	6.18	7.11	7.94	8.68	9.99	12.19	14.04	15.66
40.0	0.85	1.36	1.79	2.17	2.53	3.30	4.73	5.84	6.78	8.37	9.71	10.91	11.99	13.92	17.19	19.96	22.41
50.0	0.91	1.52	2.06	2.54	3.00	3.95	5.74	7.14	8.33	10.37	12.11	13.65	15.06	17.59	21.88	25.55	28.82
60.0	0.97	1.67	2.29	2.86	3.41	4.52	6.63	8.29	9.72	12.16	14.26	16.13	17.84	20.92	26.17	30.68	34.71

[1]Such as for rangeland and other consolidated soil conditions with cover (applicable to thawing soil where both interrill and rill erosion are significant).

Figura 105. Valores para el factor LS tabulados según longitud (ft) y Pendiente (%).
Fuente: Renard et al (1997).

En la Figura 106 se presenta el mapa de valores para el factor LS calculado para la cuenca de la ciénaga del Totumo. Se utilizó el módulo de GRASS en QGIS para la computación de este factor.

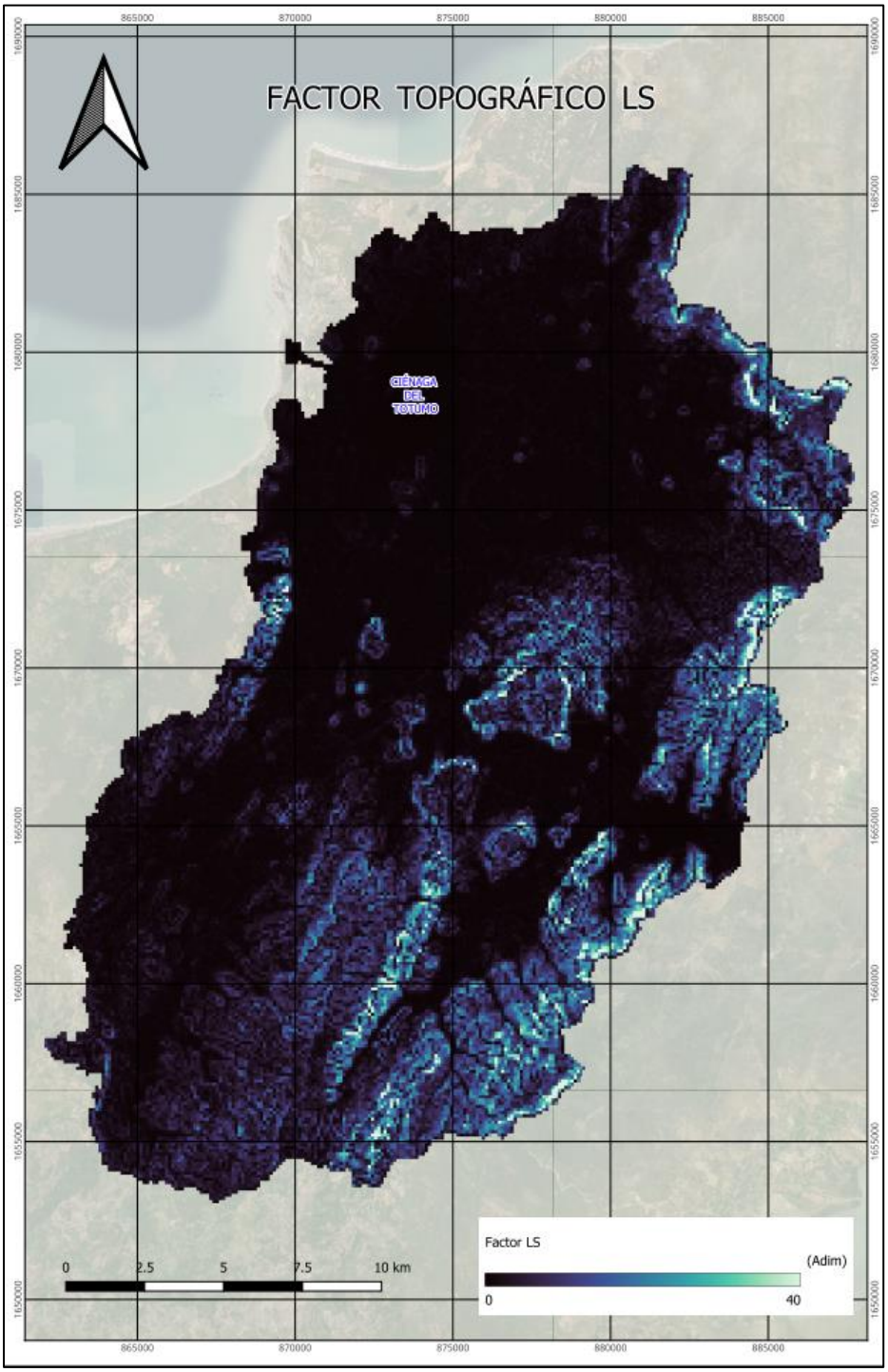


Figura 106. Mapa de valores del factor longitud-pendiente (LS) para la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

7.4 Factor de cobertura y manejo de la vegetación (C)

La cobertura vegetal es una de las formas más efectivas de controlar la erosión, reduciendo la velocidad del agua y protegiendo el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia. Este factor representa la protección que ofrece la vegetación o las prácticas de cultivo al suelo frente a la erosión. Valores más bajos de C indican mayor protección. Se obtiene a partir de datos de cobertura vegetal y uso del suelo mediante índices específicos, en la actualidad debido al auge de los sistemas de información geográfica y la información de sensores remotos (satélites) se pueden utilizar índices como el índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI por sus siglas en inglés) para la estimación del factor de cobertura y manejo de la vegetación, además ha de tenerse en cuenta que la cobertura y vegetación de una zona en específico puede variar de acuerdo a la estacionalidad y el régimen hidrológico variable en el tiempo.

7.4.1 NDVI: Época Seca, Intermedia y Húmeda

Para el análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la cuenca del Totumo, se utilizaron imágenes del sensor OLI del satélite Landsat 8, cubriendo el período 2014-2024. Se aplicó un promedio multianual por cuatrimestre para evaluar la variabilidad del NDVI en tres períodos del año: época seca, intermedia y húmeda.

Pasos Metodológicos:

a. Selección de Imágenes Satelitales

- Se recopilaron imágenes de Landsat 8 desde USGS Earth Explorer y Google Earth Engine.
- Se seleccionaron escenas con nubosidad menor al 25% para minimizar interferencias.

b. Preprocesamiento de Datos

- Se realizó un recorte espacial de las imágenes a la extensión de la cuenca del Totumo mediante SIG.

c. Cálculo del NDVI

- Se utilizó la ecuación estándar del NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

donde:

  - NIR (Banda 5: 0.85-0.88 µm)
  - RED (Banda 4: 0.64-0.67 µm)

d. Promedio Multianual por Cuatrimestre

- Se agruparon las imágenes en tres períodos anuales:
  - Época seca (enero-abril)
  - Época intermedia (mayo-agosto)
  - Época húmeda (septiembre-diciembre)
- Se calculó un promedio multianual (2014-2024) del NDVI para cada período, suavizando anomalías y resaltando tendencias estacionales.

e. Generación de Mapa de NDVI

- Se elaboraron mapas del NDVI para cada época del año, destacando la variabilidad estacional de la cobertura vegetal.
- Los resultados se presentan en la Figura 107, mostrando diferencias espaciales y temporales del NDVI en la cuenca del Totumo.

Este enfoque permite identificar patrones de vegetación en función de la estacionalidad y contribuye a la comprensión de la dinámica ambiental de la cuenca en la última década.

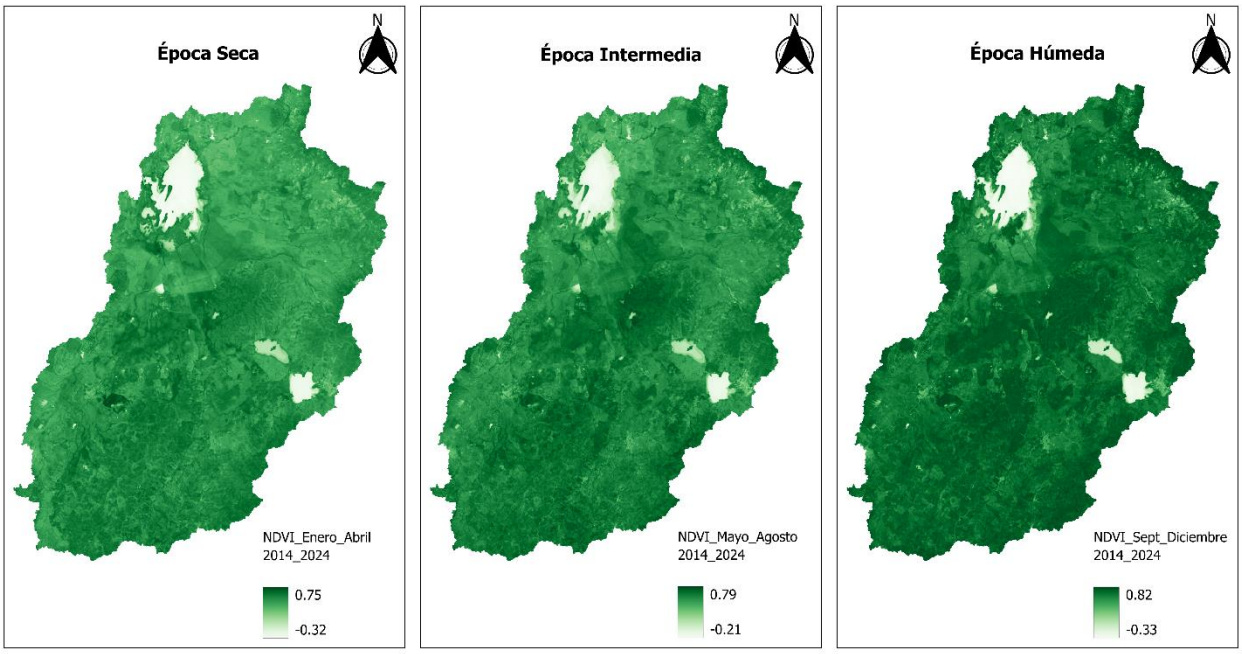


Figura 107. NDVI Cuenca del Totumo épocas del Año.

7.4.2 NDVI - Factor C

Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A. and Montanarella, L. (2000) proponen la siguiente correlación entre NDVI y el factor de erodabilidad del suelo C:

$$C = e^{-a\left(\frac{NDVI}{b-NDVI}\right)}$$

Donde a y b son parámetros de ajuste de la función exponencial, el autor sugiere valores de 2 y 1 respectivamente.

Nótese que a mayor es el valor del NDVI (que varía espacialmente con valores de 0 a 1) menor es el factor de erodabilidad del suelo, esto concuerda con la hipótesis de que con una vegetación más sana (valor de NDVI altos), menor es el potencial de erosión resultante.

Debido a la variabilidad espaciotemporal del NDVI, el factor C también varía espaciotemporalmente, las Figura 108, Figura 109 y Figura 110 presentan el factor C para los diferentes cuatrimestres en el año, fueron calculado utilizando los valores promedios multianuales de NDVI desde 2014 hasta 2024. Durante el primer cuatrimestre de enero a abril se evidencian factores más altos de erodabilidad debido al estado de la vegetación, en cambio en el último cuatrimestre que se caracteriza por ser más húmedo, los valores del factor de erodabilidad son más bajos.

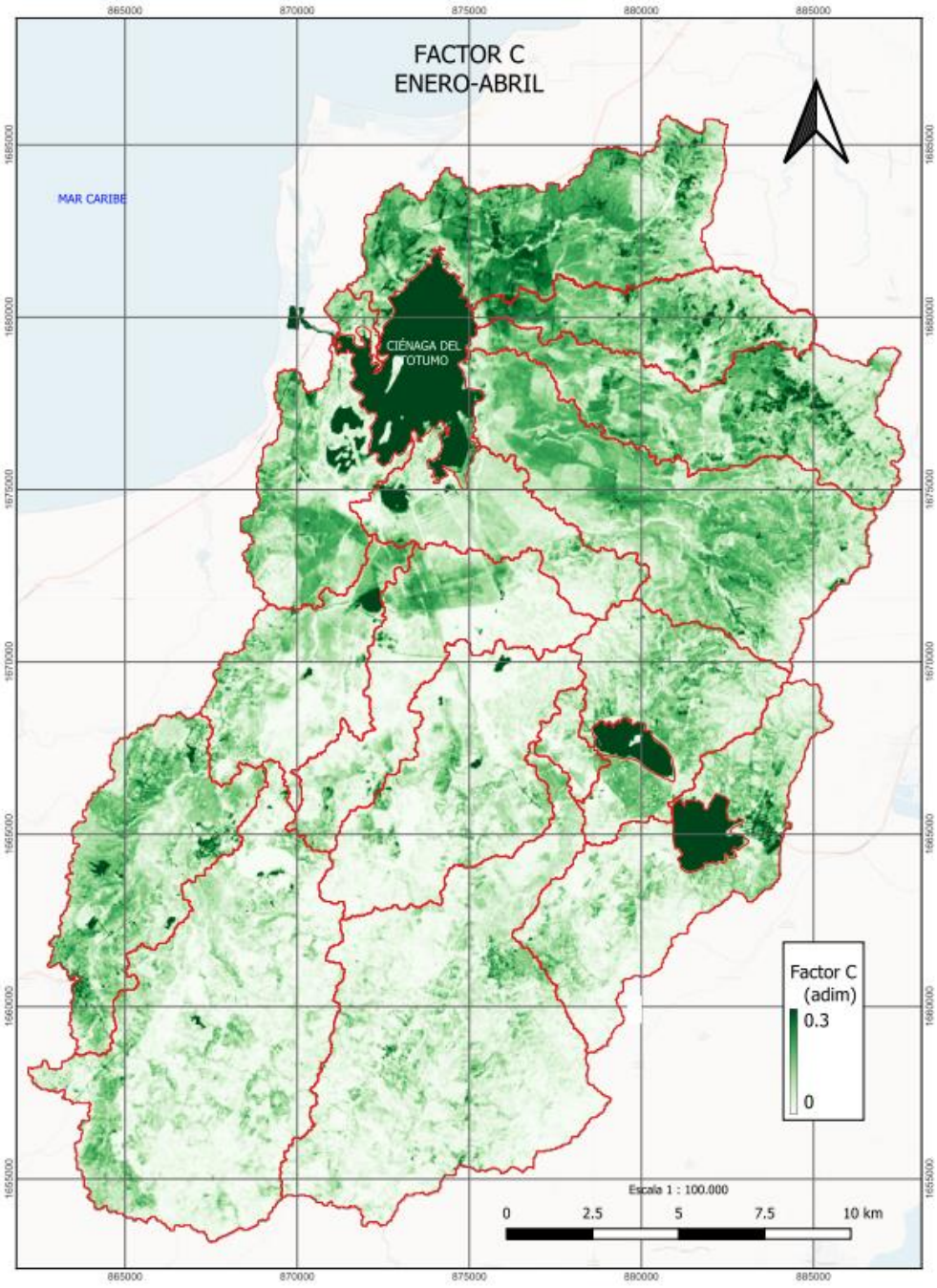


Figura 108. Factor C en cuatrimestre Enero-Abril, para la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

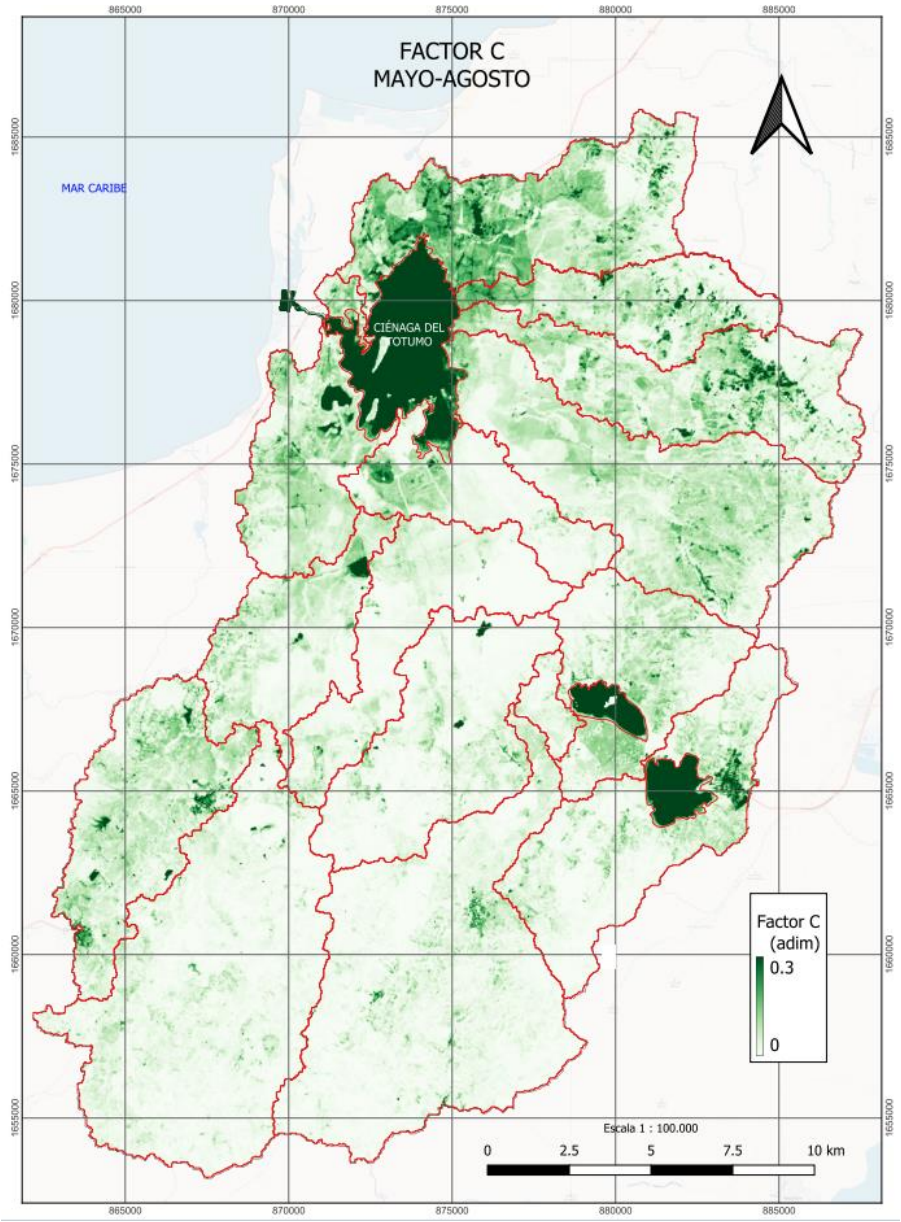


Figura 109. Factor C en cuatrimestre Mayo-Agosto, para la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

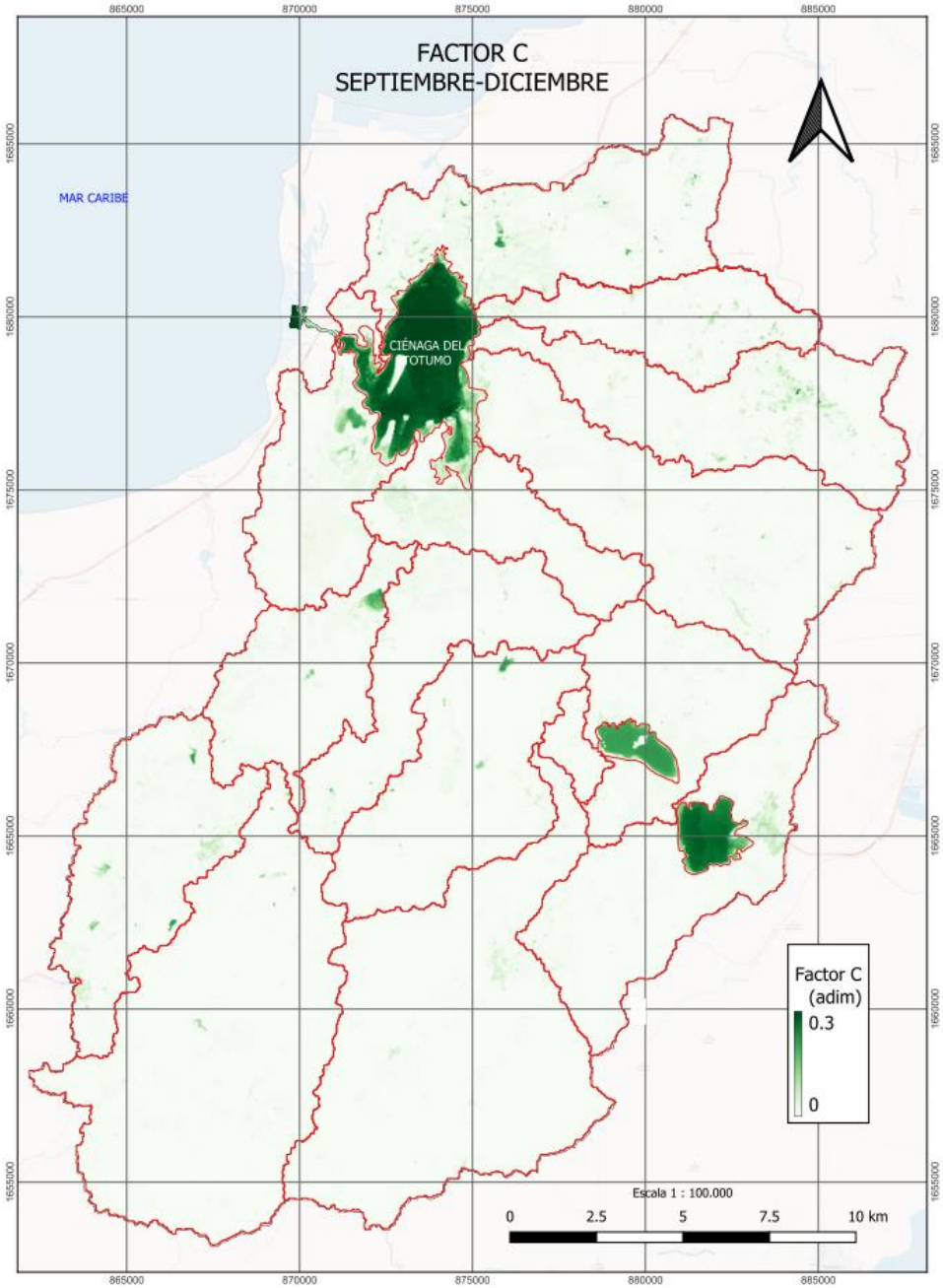


Figura 110. Factor C en cuatrimestre Septiembre-Diciembre, para la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

7.5 Factor de prácticas de conservación (P)

El factor P mide la proporción de pérdida de suelo al aplicar cultivos en contorno y/o cultivos en franjas en comparación con el cultivo en hileras rectas en pendiente. Este factor diferencia entre tierras de cultivo y pastizales permanentes. Ambas opciones consideran la construcción de terrazas o cultivos en contorno, pero en las tierras de cultivo se incluye una rutina de cultivo en franjas, mientras que en los pastizales permanentes se toma en cuenta un tipo de "disturbio mecánico ocasional". En el caso de los pastizales, estas operaciones de soporte se realizan con poca frecuencia, mientras que en tierras de cultivo forman parte de las prácticas anuales de manejo.

Representa el efecto de las prácticas implementadas para reducir la erosión, como terrazas, cultivos en contorno, barreras vegetativas o rotación de cultivos. Para este factor se asignan valores basados en el tipo de práctica, estos valores van de 0 a 1.0.

Para el presente estudio y dado que no se evidencias prácticas de conservación en la agricultura de la ciénaga del Totumo este valor se toma como 1.0 para toda la cuenca.

7.6 Proporción de entrega de sedimentos (SDR)

La ecuación universal revisada de pérdida de suelo (RUSLE) brinda como resultado un estimado la tasa anual que puede erosionarse distribuida espacialmente en toda la cuenca, sin embargo, esta cantidad de suelo que potencialmente se puede perder no es lo que anualmente llega a los afluentes que descargan en la ciénaga del Totumo; Es por ello, que para calcular cuánto de ese material que se erosiona anualmente llega a los puntos de concentración de los cauces es necesario estimar la proporción de entrega de sedimentos (SDR, por sus siglas en inglés).

El SDR corresponde a un valor entre 0 y 1, que multiplicado al potencial de pérdida de suelo da una estimación la cantidad de sedimento que en realidad llega al punto de concentración de una cuenca en un tiempo de un año. Varias investigaciones se han realizado al respecto, algunas utilizando información empírica para establecer correlaciones entre el área de una cuenca y su SDR y otras, basadas en asunciones físicas con aplicaciones en sistemas de información geográfica.

7.6.1 Formulaciones basadas en correlaciones con el área de la cuenca

Algunos investigadores como Vanoni (2006) y Shekar & Mathew (2024) plantean que la principal variable que afecta el SDR es el área. Realizando mediciones de la erosión real en diferentes cuencas determinaron una relación entre el área de éstas y el potencial de erosión de ellas. Los resultados obtenidos por Vanoni (2006) se pueden observar en la Figura 115.

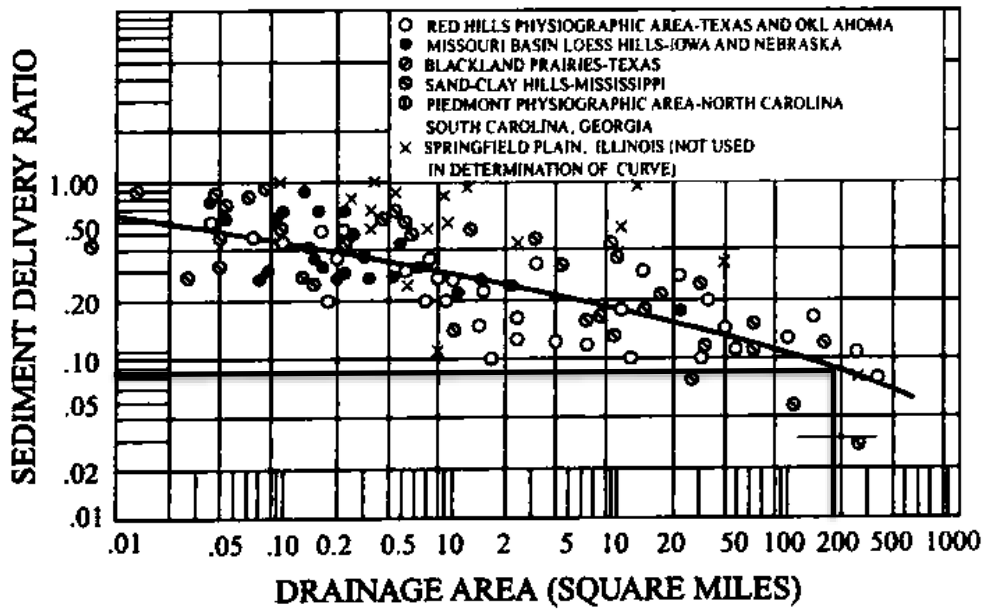


Figura 111. Relación entre el tamaño de la cuenca de drenaje y el índice de entrega de sedimentos.

Fuente: Vanoni, 2006.

Como se mencionó en el capítulo 2, la cuenca de la Ciénaga del Totumo tiene una superficie aproximada de 494 km² (190.7 mi²). Al analizar laFigura 115, se observa que el índice de entrega de sedimentos para esta cuenca se encuentra en el rango del 7% al 8%.

Por otro lado, Shekar & Mathew (2024) ofrecen la siguiente formulación:

$$SDR = 0.51 \times A^{-0.11}$$

Donde A, corresponde al área de la cuenca en km^2 y SDR (adimensional) es la proporción de entrega de sedimentos. Esta formulación establece una relación exponencial inversa, donde a mayor área menor es la proporción de entrega de sedimentos. Para el área de la cuenca de la ciénaga del Totumo el SDR obtenido con esta formulación es del 25.78%.

7.6.2 Formulaciones basadas en asunciones físicas

Una de las principales desventajas que tienen las formulaciones basadas en área es que se estiman de manera uniforme en toda la cuenca, además de que su uso por subcuencas puede diferir de los resultados obtenidos para una cuenca general, es por ello por lo que se indagó el uso de estimaciones basadas en asunciones físicas.

Autores como Vigiak (2012) plantean formulaciones de SDR que se basan el índice de conectividad (IC) planteado por Borselli (2008) el cual tiene en cuenta que para cierto punto determinado en la cuenca hay dos componentes que influyen en la cantidad de ese material que pueda llegar hasta el punto de concentración de la cuenca. Un componente que considera el material que vienen pendiente arriba y otro componente que considera el camino que debe recorrer el material hasta llegar al punto de concentración. La formulación presentada por Vigiak (2012) es la siguiente.

$$SDR = \frac{SDR_{máx}}{1 + e^{\frac{IC_o - IC_i}{k_b}}}$$

Donde:

$SDR_{máx}$: *Proporción de entrega de sedimentos máxima teórica, el valor por defecto recomendado por el autor es de 0.8.*

IC_0, k_b: *Parámetros de calibración para la función sigmoide, los valores por defecto recomendados por el autor son de 0.5 y 2, respectivamente.*

IC_i: *Índice de conectividad distribuido espacialmente, calculado con metodología descrita en Borselli (2008).*

De acuerdo con Borselli (2008), el índice de conectividad se define de la siguiente manera.

$$IC_i = \log_{10}\left(\frac{D_{up}}{D_{dn}}\right) = \log_{10}\left(\frac{\bar{W}\bar{S}\sqrt{A}}{(\Sigma_{i=k,n_k}\frac{d_i}{W_i S_i}}\right)$$

Donde:

IC_i: *Índice de conectividad para un punto i en la cuenca.*

D_{up}: *Componente pendiente arriba.*

D_{dn}: *Componente pendiente abajo.*

$\bar{W}$: *Factor de ponderación promedio de un área (Usualmente, factor de cobertura vegetal C)*

W_i: *Factor de ponderación en una celda (Usualmente, factor de cobertura vegetal C)*

d_i: *Distancia pendiente abajo desde un punto i hasta el punto de concentración.*

S_i: *Valor de la pendiente en un punto i.*

En la Figura *112* se muestra un esquema presentado por Borselli (2008), donde se muestran gráficamente estas variables.

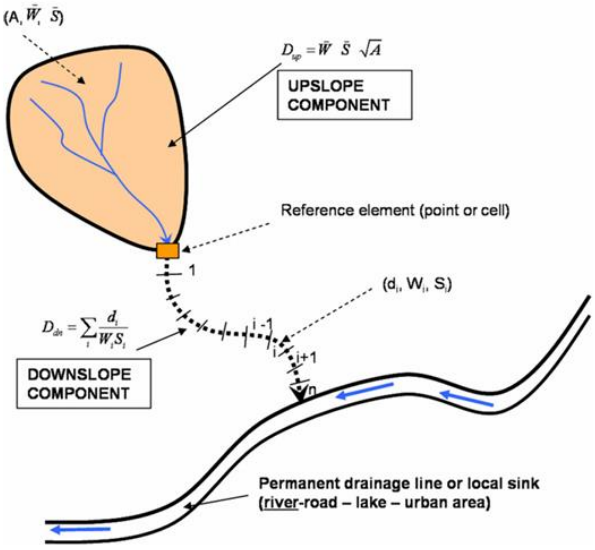


Figura 112. Definición de componentes pendiente arriba y pendiente abajo.
Fuente: Borselli, 2008.

7.6.3 Mapas de SDR

Finalmente se presentan los mapas de SDR para el presente estudio. La metodología que fue utilizada es la presentada en la sección 7.6.2. Y debido a que una de las variables utilizadas en esta metodología corresponde a la vegetación que varía a lo largo del año, el SDR también es un valor que varía. En las Figura 113 a la Figura 116 se presentan los mapas de SDR para los cuatrimestres enero-abril, mayo-agosto y septiembre-diciembre, además del SDR promedio anual.

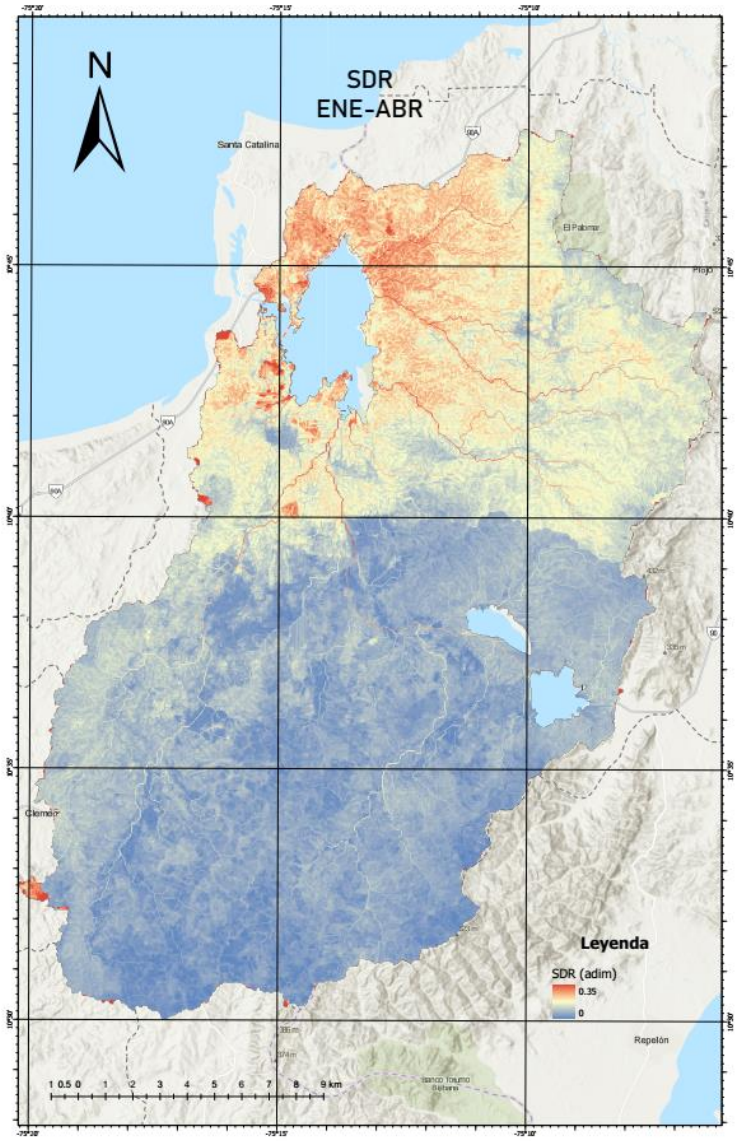


Figura 113. Proporción de entrega de sedimentos (SDR) para el cuatrimestre enero-abril multianual. Fuente: Elaboración propia.

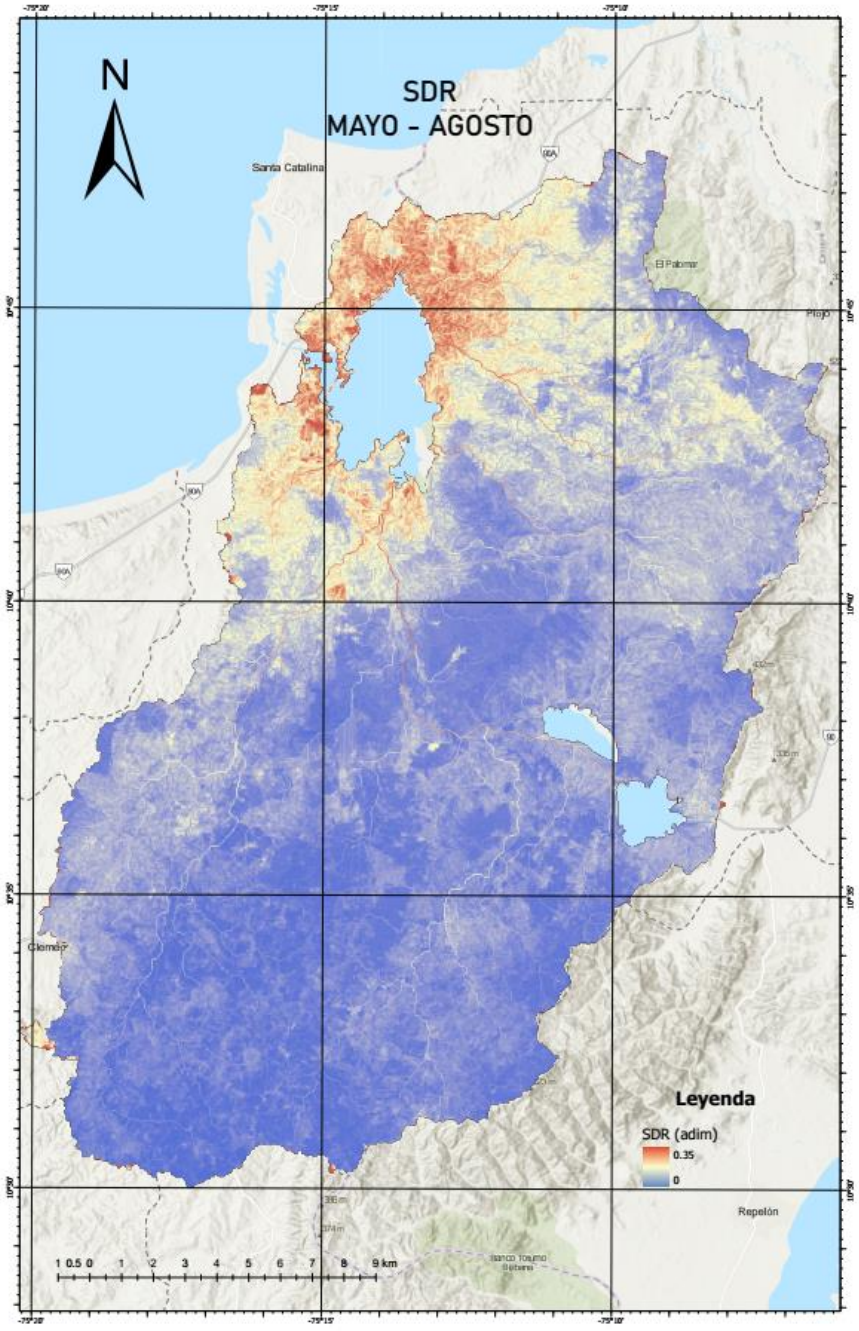


Figura 114. Proporción de entrega de sedimentos (SDR) para el cuatrimestre mayo-agosto multianual.
Fuente: Elaboración propia.

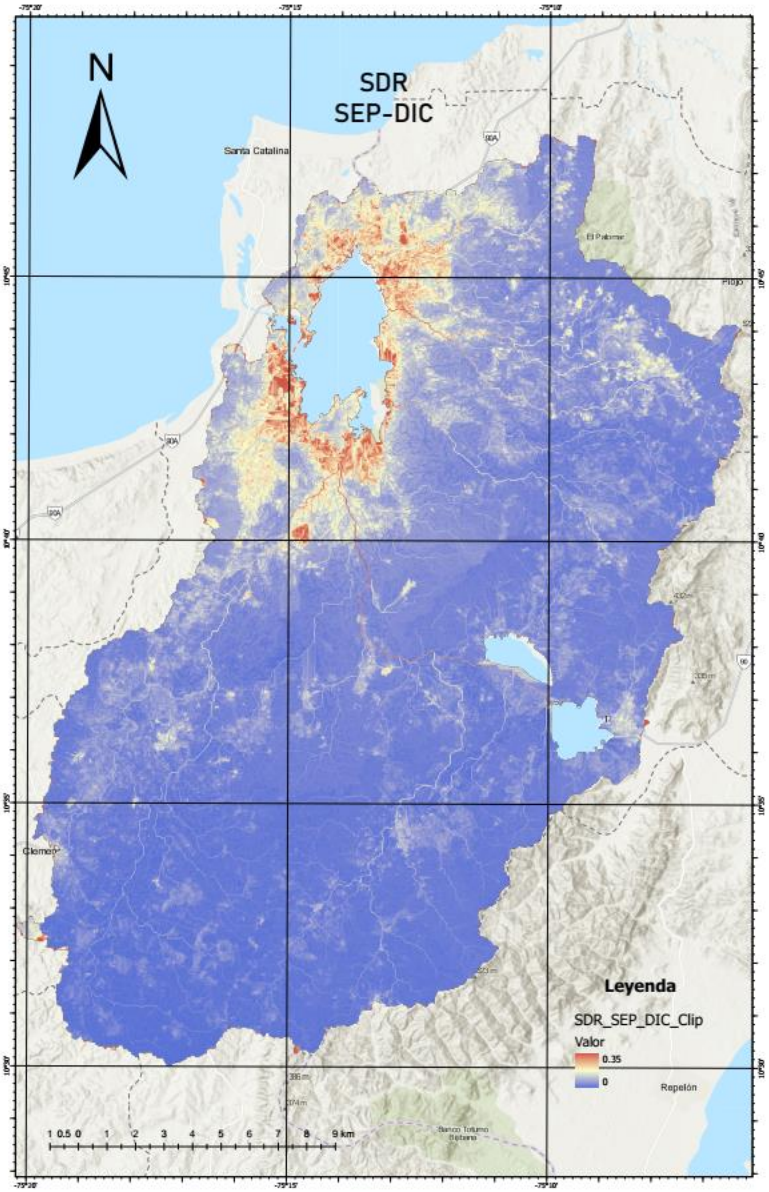


Figura 115. Proporción de entrega de sedimentos (SDR) para el cuatrimestre septiembre-diciembre multianual.
Fuente: Elaboración propia.

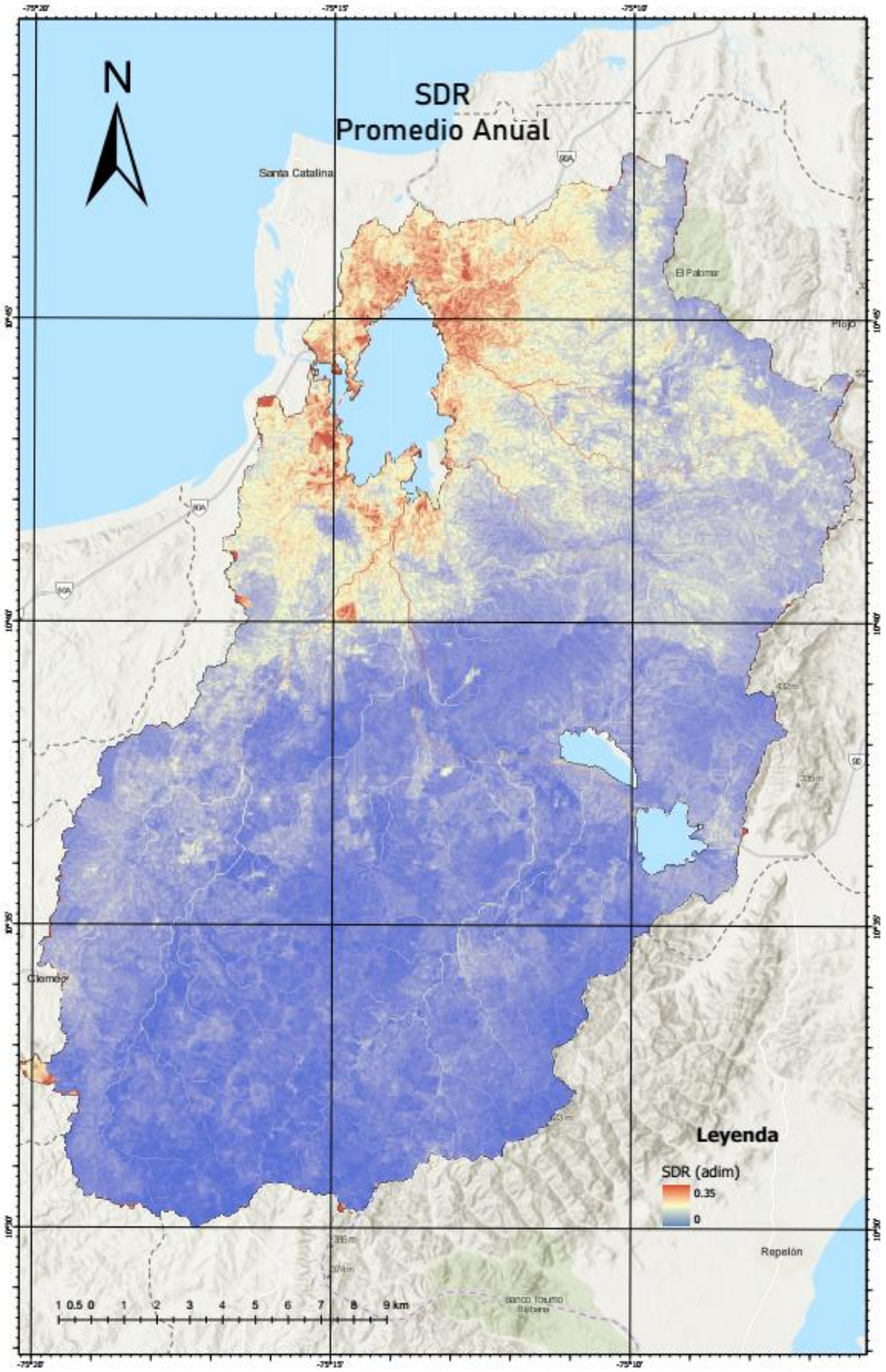


Figura 116. Proporción de entrega de sedimentos (SDR) promedio anual.
Fuente: Elaboración propia.

7.7 Tasas anuales de erosión y de entrega de sedimento por afluentes

Con la información recopilada de factores, se calcula el valor de la tasa de erosión anual como producto de cada uno de los factores, el potencial de erosión total de la cuenca es de 204856.6 Ton/Año, sin embargo lo que llega a la ciénaga del Totumo son , véase la Figura 117. La aplicación de la proporción de entrega de sedimento promedio anual se puede evidenciar en la Figura 118 y por último, en la Figura 119 y la Tabla 27 se presentan los aportes anuales por las subcuencas de cada uno de los afluentes.

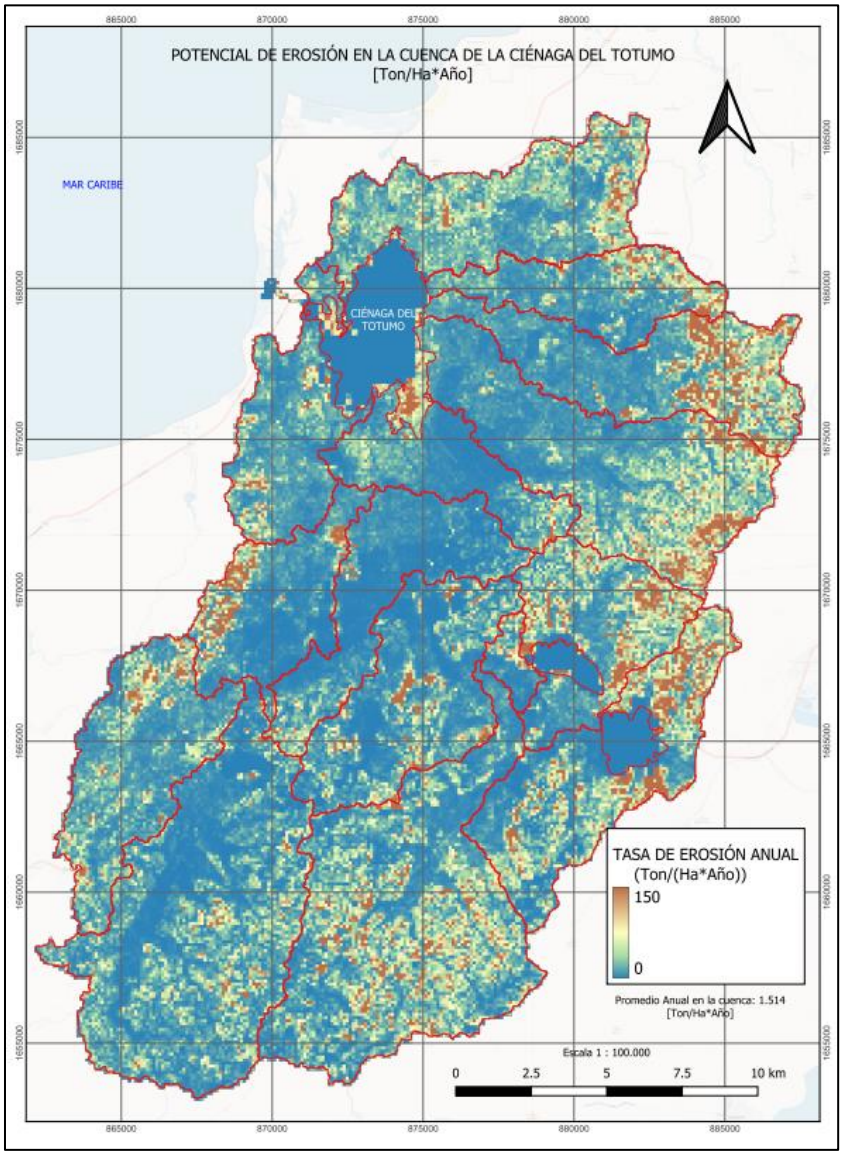


Figura 117. Tasa potencial de erosión anual en la cuenca de la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

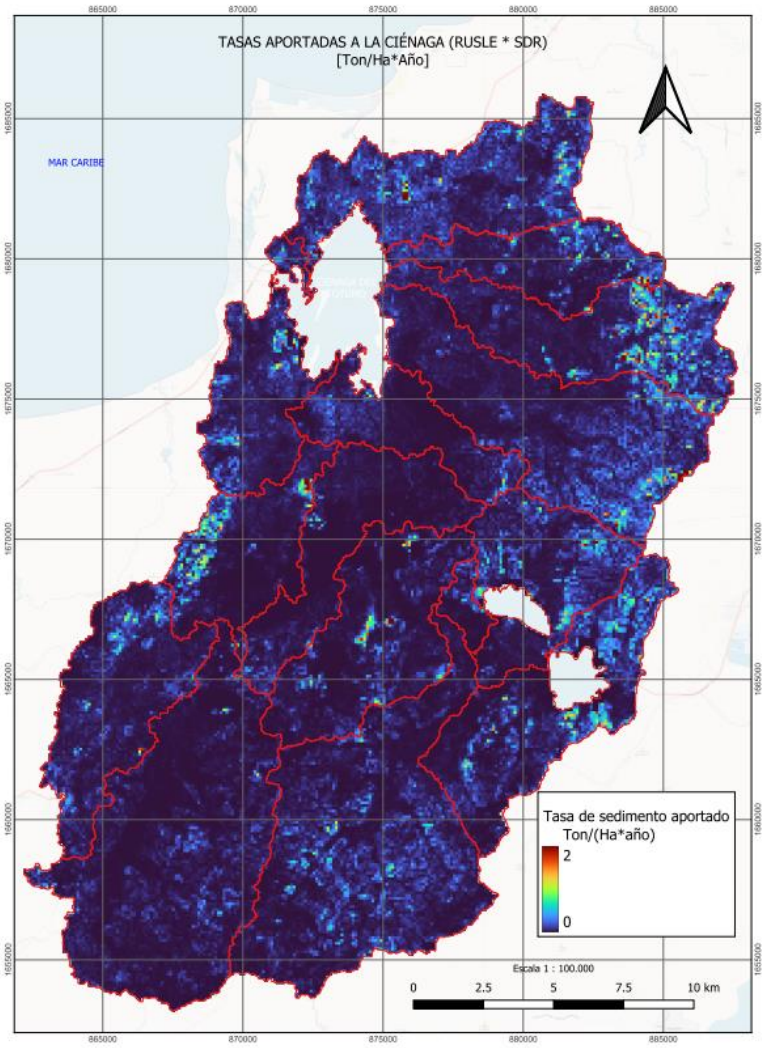


Figura 118. Tasa anual de sedimento aportado en la cuenca de la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

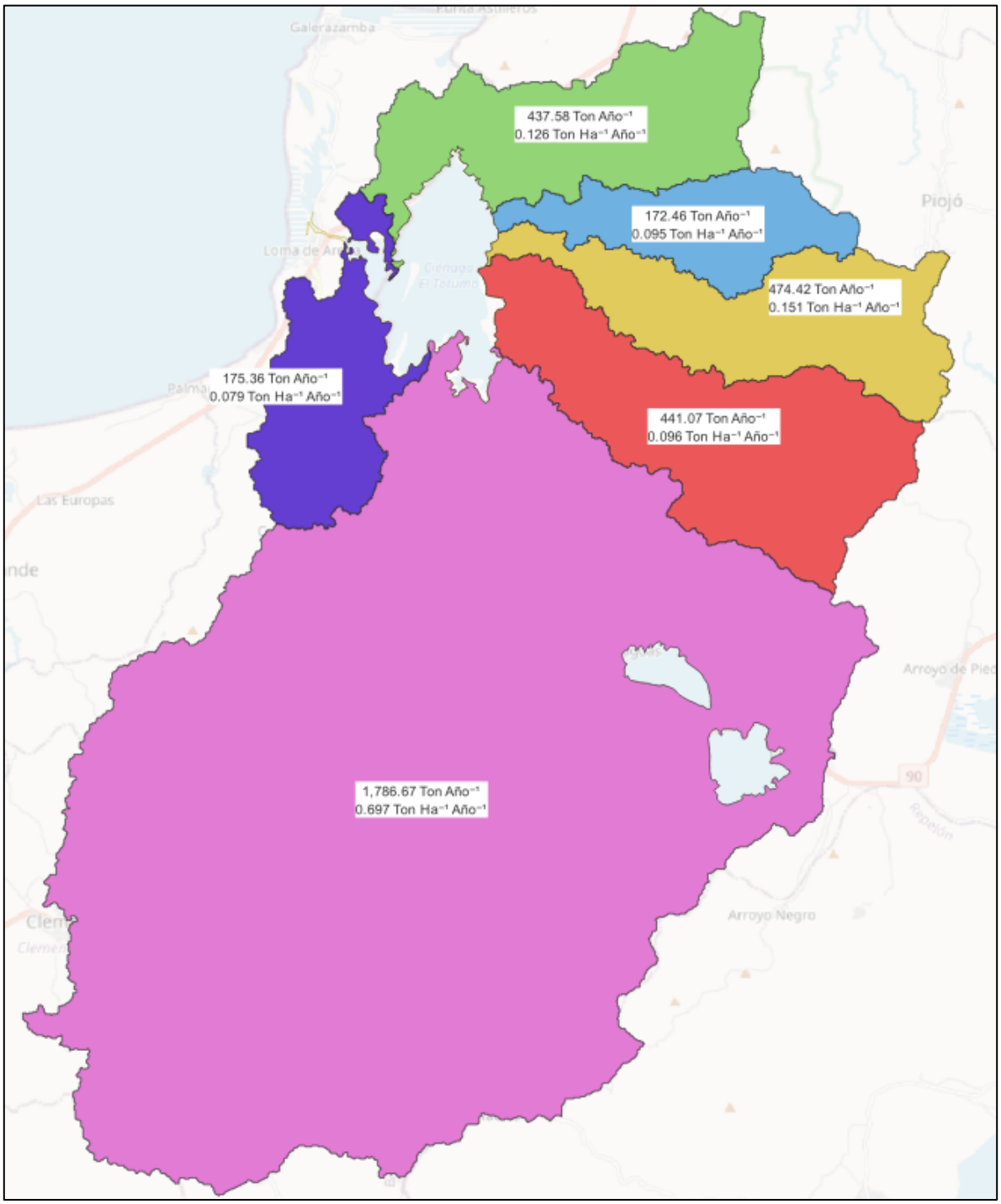


Figura 119. Aportes anuales de sedimento por afluente en la cuenca de la ciénaga del Totumo.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27 Tasas de entrega de sedimento por subcuenca

Subcuenca	Tasa de entrega de sedimento (Ton/Año)	Area (km^2)	Tasa promedio de entrega de sedimento por Ha (Ton/(Ha * Año))
Calabrisa	437.6	34.866	0.126
Ay. Maravillas	175.4	22.232	0.079
Ay. Sabana	474.4	31.46	0.151
Ay. Roberto	441.1	46.012	0.096
Caño Late	172.5	18.237	0.095
Ay. Ronco	1786.7	25.622	0.697
PROMEDIO	**581.3**	**--**	**0.207**
TOTAL	**3487.6**	**178.429**	**--**

8 Análisis multitemporal de la Ciénaga del Totumo

8.1 Análisis de orillas

Con el objetivo de evaluar la evolución espacial de la Ciénaga del Totumo, se desarrolló un análisis multitemporal del espejo de agua a partir de imágenes satelitales de las misiones Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, abarcando el periodo 1984–2024. Todas las imágenes utilizadas corresponden a los meses de noviembre y diciembre, lo que permitió reducir la variabilidad estacional y facilitar una comparación consistente. Este análisis permitió evaluar los cambios morfológicos en los bordes de la ciénaga, así como variaciones en su superficie cubierta por agua.

Las imágenes procesadas como se observa en la Figura 120 muestran que, entre los años 1984 y 2024 si bien la magnitud del área del espejo de agua del cuerpo de agua se ha mantenido relativamente estable a lo largo del tiempo, existen sectores específicos donde se han observado cambios morfológicos relevantes. En la porción sur de la ciénaga, se identifican retrocesos y avances en la línea de orilla que pueden estar relacionados con dinámicas hidrológicas estacionales, procesos de sedimentación, presencia de vegetación acuática o intervención antrópica. En el extremo noroeste, se evidencian formaciones deltaicas incipientes en las zonas de desembocadura de los principales arroyos.

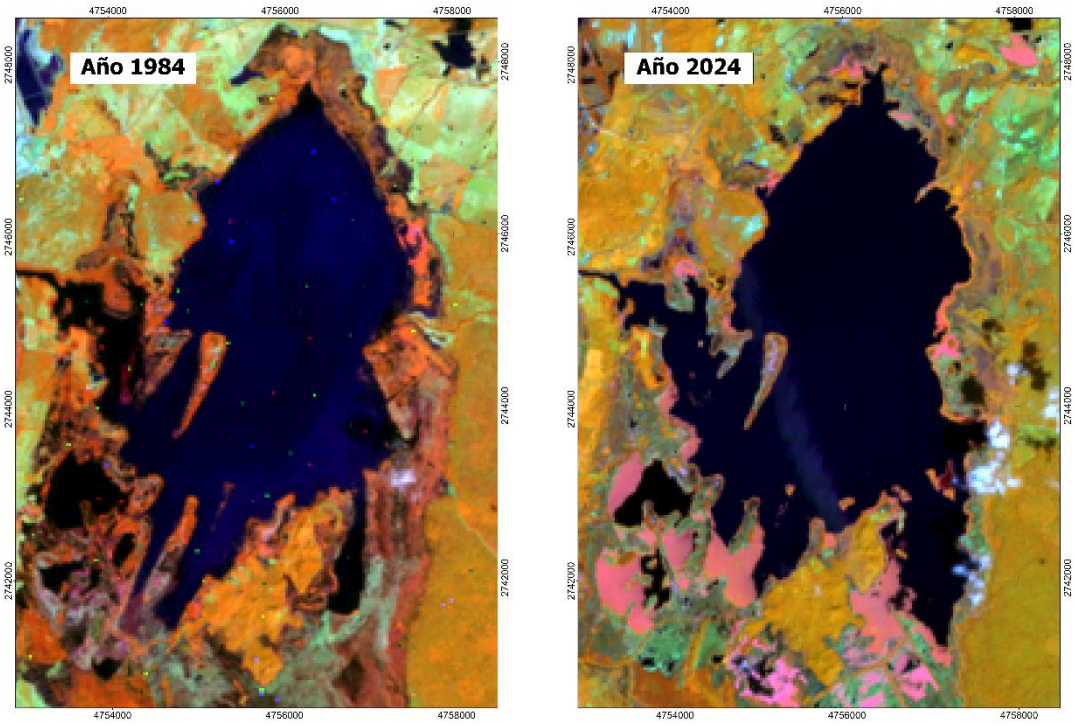


Figura 120. Evolución año 1984-2024 ciénaga del Totumo.

Al comparar los años 1984 y 2018 (Figura 121), se observa que las variaciones en la extensión del espejo de agua responden en gran medida al estado hidrológico del sistema y la presencia de vegeatación acuática (color rojo o rosado de la imagen). En la zona suroeste de la ciénaga no se evidencian diferencias significativas entre ambos años. Sin embargo, se aprecia una ampliación notoria en el sector sureste, lo cual muestra un aumento en la superficie total de la ciénaga.

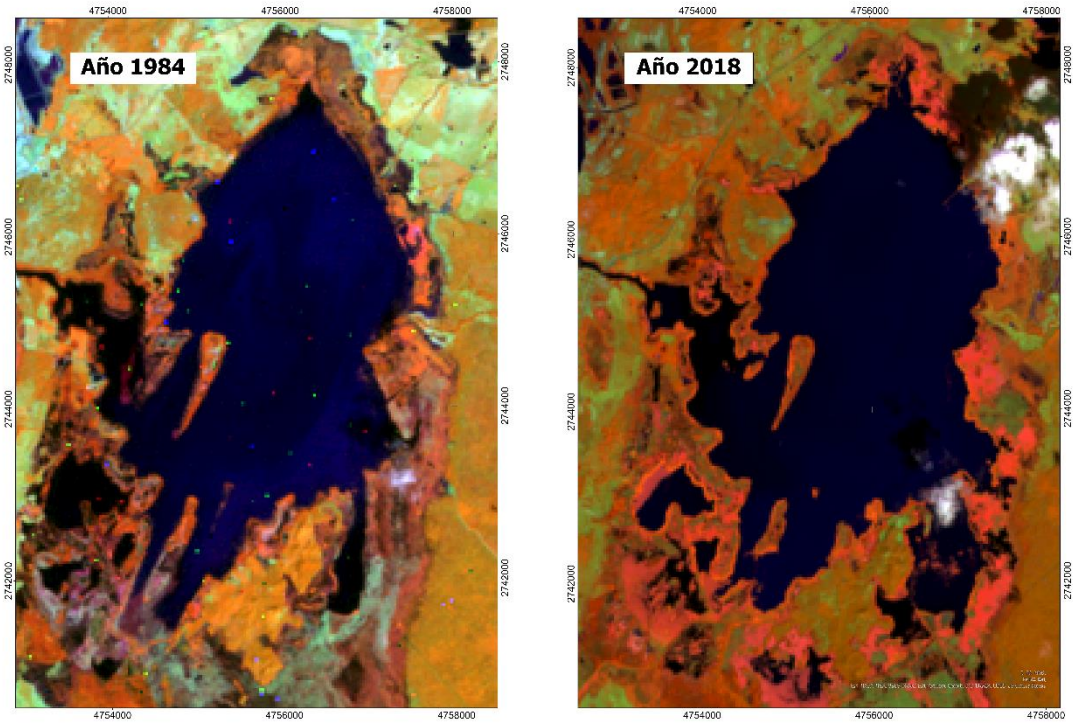


Figura 121. Evolución año 1984-2018 ciénaga del Totumo.

El análisis vectorial de las orillas multianuales (Figura 122) muestra la superposición de las líneas de contorno del espejo de agua para los distintos años evaluados. Esta comparación revela que los cambios más significativos en la configuración de la ciénaga se concentran en el sector sur. En particular, se observa un retroceso de la línea de orilla en la zona sureste, mientras que en el suroeste se presenta una expansión notable del cuerpo de agua.

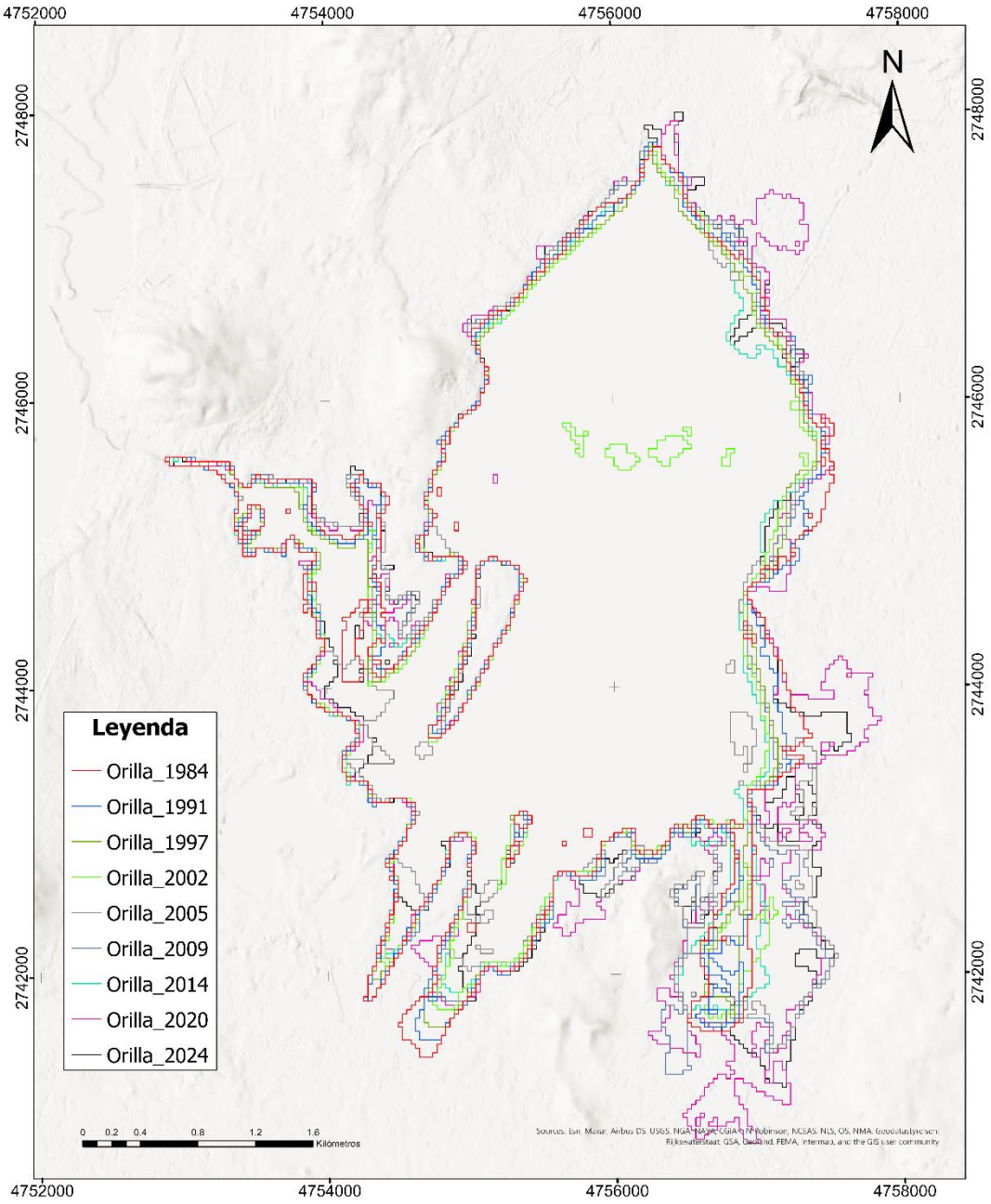


Figura 122. Orillas multianuales ciénaga del Totumo

De forma general, se concluye que el espejo de agua de la Ciénaga del Totumo ha presentado una tendencia ligeramente creciente durante el periodo 1984–2024, pasando de 12.19 millones de m² en 1984 a 13.02 millones de m² en 2024. Este comportamiento, representado en la Tabla 28 y la Figura

123, muestra una evolución con fluctuaciones interanuales, pero sin evidencia de pérdida sostenida de la magnitud del ára de la superficie. No obstante, la pérdida de área en el sector suroeste parece quedar balanceada con un incremento de área en el sector sureste, mostrando zonas de colmatación e inundación sostenitoos a lo largo del tiempo. Es decir, la pérdida de área en ciertos sectores en la zona suroeste de la ciénaga, puede estar relacionado con el incremento de espejo en la zona suroeste.

Se registraron reducciones temporales en años como 2002 y 2014, probablemente asociadas a periodos secos o condiciones hidrológicas adversas. Sin embargo, en la última década se observa una recuperación sostenida del espejo de agua, alcanzando un máximo en el año 2020.

Tabla 28. Evolución de espejo de agua de Ciénaga del Totumo por año.

Año	Área (m^2)
1984	12,185,100
1991	12,010,500
1997	11,276,100
2002	10,925,100
2005	12,116,700
2009	13,019,400
2014	11,486,700
2020	13,981,050
2024	13,023,900

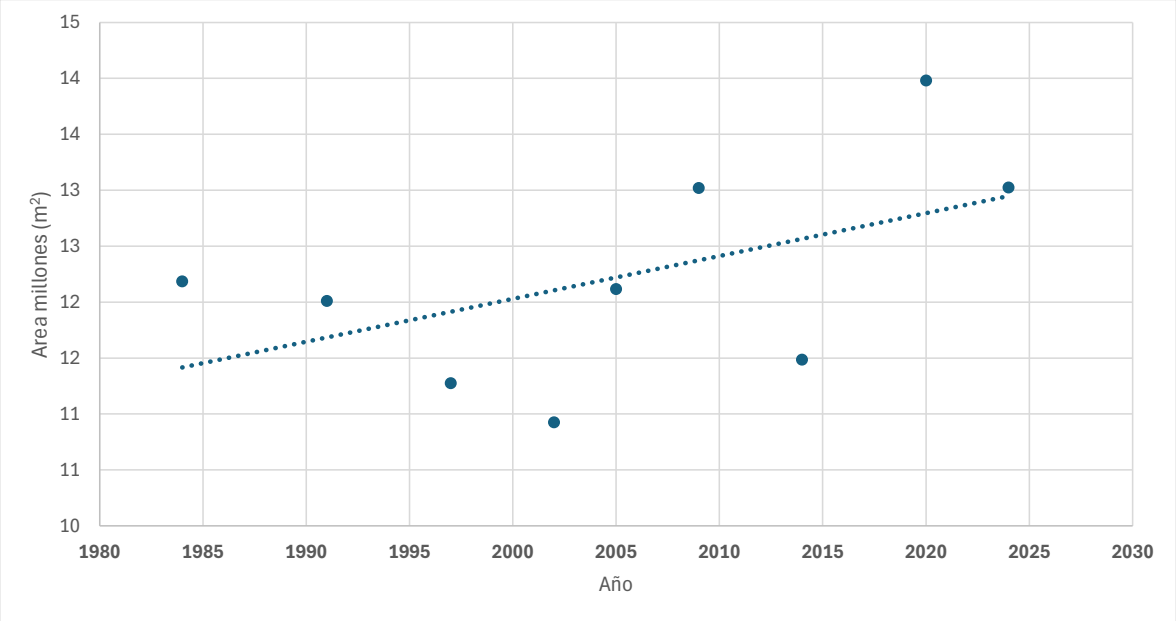


Figura 123. Evolución histórica de área de ciénaga del Totumo

8.2 Análisis descriptivo de los sectores

Durante los trabajos de campo que se realizaron en este cuerpo de agua también se hizo una caracterización de las diferentes zonas, se dividió el cuerpo de agua en 12 zonas, en las cuales se hace una descripción de lo que se encontró incluyendo un registro fotográfico en esta área.

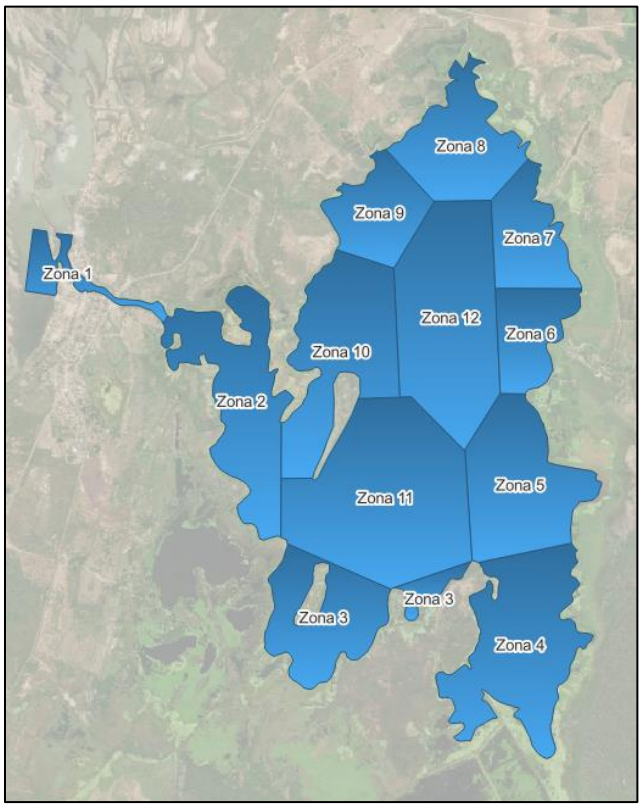
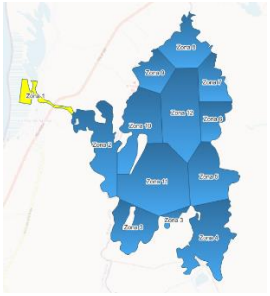
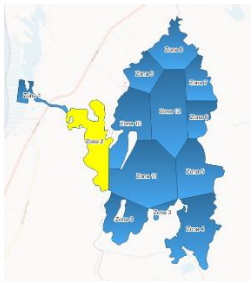


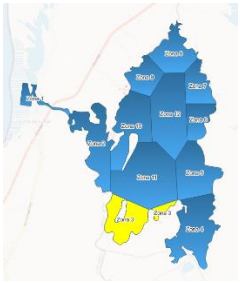
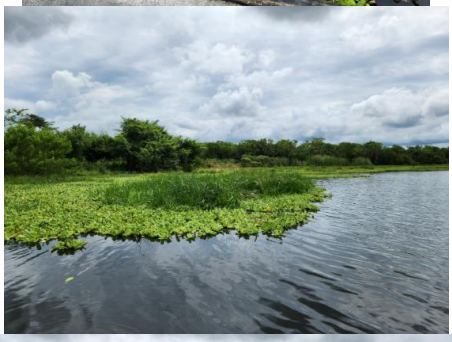
Figura 124. Zonas de análisis distribuidas en el área de la ciénaga del Totumo
Fuente: Elaboración propia

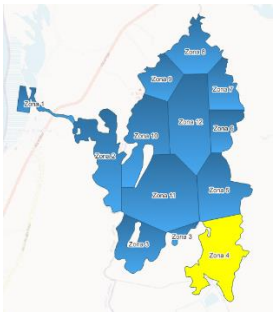
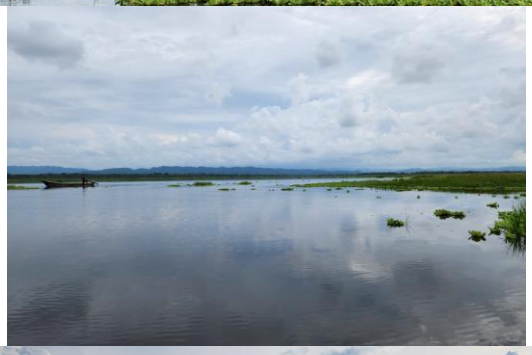
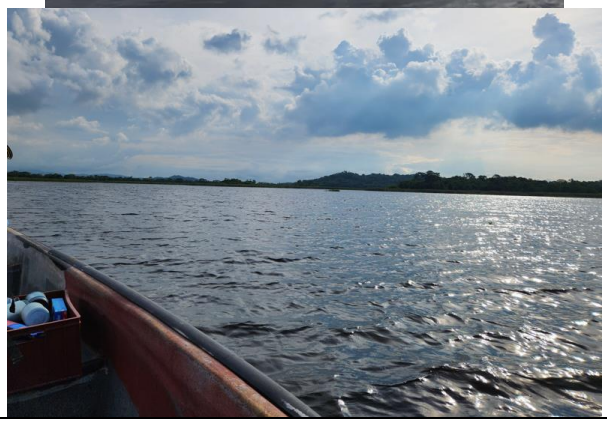
En la Tabla 29 se condensan los registros fotográficos y descripciones de cada una de las diferentes zonas.

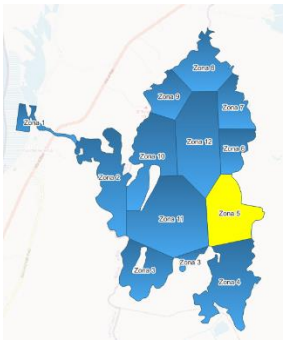
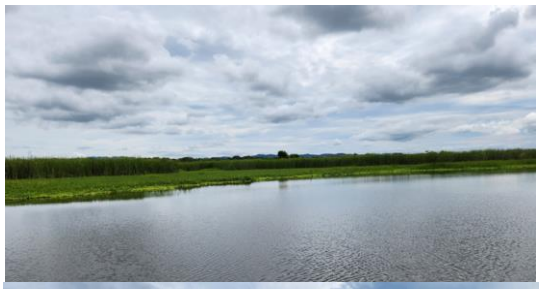
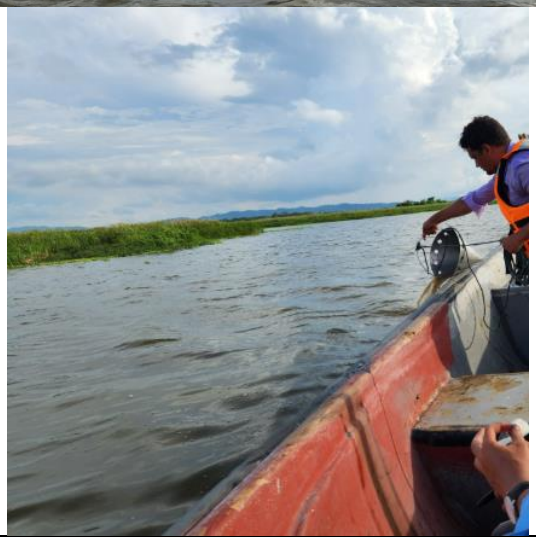
Tabla 29. Caracterización por zonas en la ciénaga del totumo.

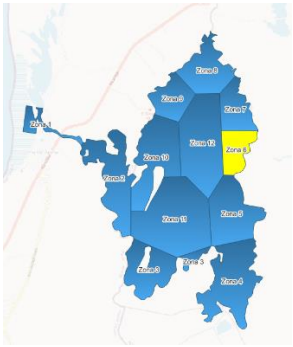
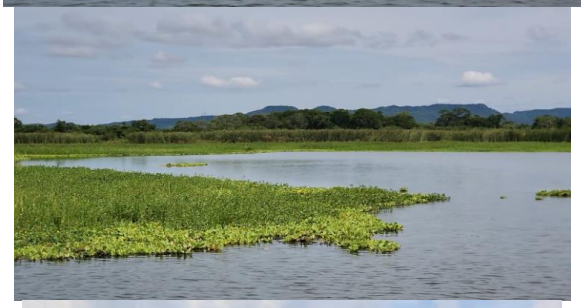
ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
1		    	Esta zona corresponde al Caño Amanzaguapo, es cual es el canal de conexión de la ciénaga del Totumo con la laguna costera "La Redonda". Presenta las mayores profundidades de la ciénaga, las cuales pueden superar los 4.5m en el centro del canal. y es una zona crítica para la navegación. Desde esta zona es donde los habitantes de Loma de Arena embarcan para dirigirse hacia la ciénaga. En esta zona se encuentran 3 obras de infraestructura relevantes. Una es el puente del Totumo que hace parte de la Vía al Mar que conecta Barranquilla y Cartagena. Otra es el Malecón de Loma de Arena, que cuenta con un muelle flotante, aunque gran parte del tiempo permanece colmatado por elodea y/o taruyas. Y también se encuentra un sistema de compuertas que sirven como control hidráulico para este cuerpo de agua. En esta zona constantemente hay obstrucciones por la alta presencia de Elodea, suponiendo un gran problema para la navegación y afectando así las actividades de pesca que lleva a cabo la comunidad en la ciénaga.

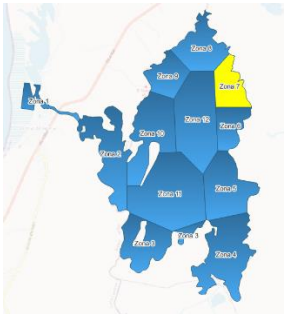
ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
2		   	Esta es una zona de conexión entre el caño Amanzaguapo y la ciénaga del Totumo. Tiene presencia de elodea y taruyas.

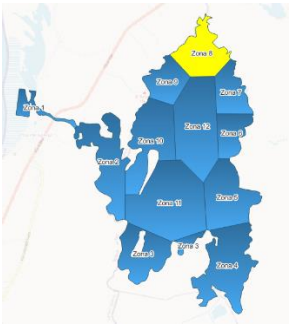
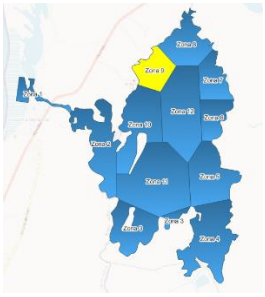
ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
3		   	Esta zona está al sur occidente de la ciénaga. Esta zona, se encuentra al oeste de la zona en tierra conocida como “Las Perdices” Cuenta con la presencia de una isla que para el año 1984 estaba conectada con la tierra. En esta zona es donde está la conexión con la laguna “El Rodeo”, un cuerpo de agua más pequeño contiguo a la ciénaga del Totumo, para el cual la conexión no es visible dada la alta presencia de vegetación. En esta zona se percibieron malos olores, esto puede estar relacionado con condiciones anaerobias en el agua, las cuales pueden explicarse por la poca o nula presencia de corrientes en la zona y la alta presencia de eutrofización.

ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
4		   	Esta zona está al suroriente de la ciénaga. Al este de la zona en tierra conocida como “Las Perdices”. Es una zona extensa, en la cual comúnmente se evidencia una alta presencia de taruyas y elodea. Se percibieron malos olores, sobre todo en las zonas más al sur, cercanas a la zona donde el arroyo Ronco entrega su cauce a la ciénaga del Totumo. Para esta zona se realizaron 2 visitas una en la cual había una presencia completa de vegetación en el agua y otra en la que esta zona se encontraba despejada casi en su totalidad. En esta segunda visita se percibieron corrientes provenientes del norte. Las dos primeras imágenes fueron tomadas desde la zona más al norte de esta zona, dado que no era posible navegar hasta los puntos más alejados al sur, el 31/10/2024. 8 días más tarde, el 08/11/2024, fueron tomadas las dos últimas imágenes, donde fue posible ingresar hasta los puntos más al sur. Nótese la diferencia en la presencia de la vegetación.

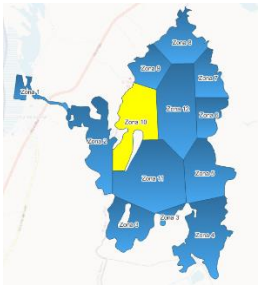
ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
5		   	En esta zona se encuentra la desembocadura del arroyo Roberto. En la zona del delta del arroyo con la ciénaga, no se visualiza claramente el cauce dado que hay una alta vegetación en la zona. Se perciben corrientes provenientes del norte. No se percibieron malos olores.

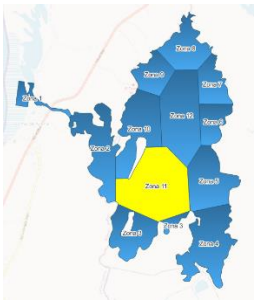
ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
6		   	En esta zona se encuentra la desembocadura del arroyo Sabana. En la zona del delta del arroyo con la ciénaga, el cauce no es claramente visible debido a la densa vegetación en el área. Se perciben corrientes provenientes del norte. No se percibieron malos olores.

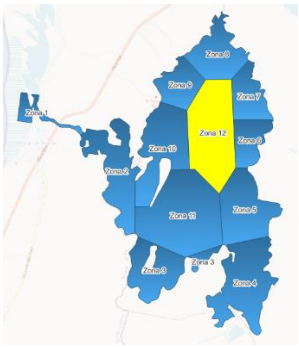
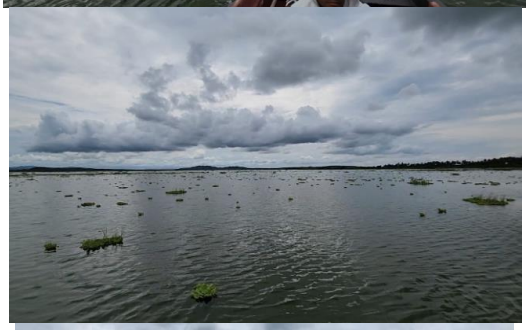
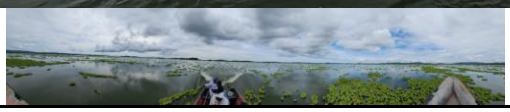
ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
7		  	En esta zona se encuentra la desembocadura de los arroyos Caño Late y Calabrisa. En la zona de los deltas de los arroyos son distinguibles, aunque tienen una alta presencia de taruyas. Los materiales que se encuentran en su conformación son arenas. Se perciben corrientes provenientes del norte. No se percibieron malos olores.

ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
8		  	En la zona norte de la ciénaga se encuentra una zona pantanosa con presencia de taruyas y elodea cerca de las márgenes. En tierra firme se ve hierba alta. No se perciben malos olores.
9			En esta zona al norte de la zona del volcán del Totumo, se encuentra en menor medida presencia de elodea y de taruyas. Se perciben corrientes. Es una zona en la que es común encontrar trasmallos que colocan los pescadores.

ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
		  	

ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
10		   	Esta zona corresponde al área entre la isla Los cocos y la zona en tierra en la cual se puede encontrar el volcán del Totumo, el cual es un atractivo turístico de la zona. Esta área se caracteriza por alta presencia de vegetación en el agua que en muchas ocasiones dificultan la navegabilidad desde Loma de Arena hasta el norte de la ciénaga. Se perciben malos olores y es visible también elodea en estado de descomposición.

ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
11		  	Esta zona en la parte se central se encuentra despejada. Pero en las zonas aledañas a la isla los Cocos se encuentran taruyas que son recurrentes en el tiempo. En general las zonas circundantes a la isla los cocos presenta alta vegetación en el agua.

ZONA	LOCALIZACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
12		   	Corresponde a la zona central de la ciénaga del Totumo. Es una zona despejada en la cual se perciben corrientes y oleaje inducido por viento. De acuerdo con la batimetría del espejo de agua central es la zona que tiene mayores profundidades. No se perciben malos olores.

9 Modelo Sedimentológico

En este capítulo se describe el modelo sedimentológico desarrollado para evaluar los procesos de transporte y deposición de sedimentos en la Ciénaga del Totumo. El modelo integra los resultados hidrológicos obtenidos previamente con la caracterización granulométrica del fondo y de los aportes de los arroyos tributarios. Esta información permitió establecer las condiciones de contorno necesarias para simular el comportamiento sedimentológico durante eventos representativos.

Como se observó en la Tabla 6, el suelo del fondo de la ciénaga está compuesto en su mayoría por limos de baja plasticidad, con un diámetro medio (D_{50}) inferior al tamiz N° 200. Por ello, para efectos del modelado, se adoptó una clase de sedimento representativa de limos con tamaños entre 8 y 16 micras en toda la superficie de la ciénaga, excepto en el canal de salida donde se consideró una fracción más gruesa. La Figura 125 muestra la distribución espacial de estas características.

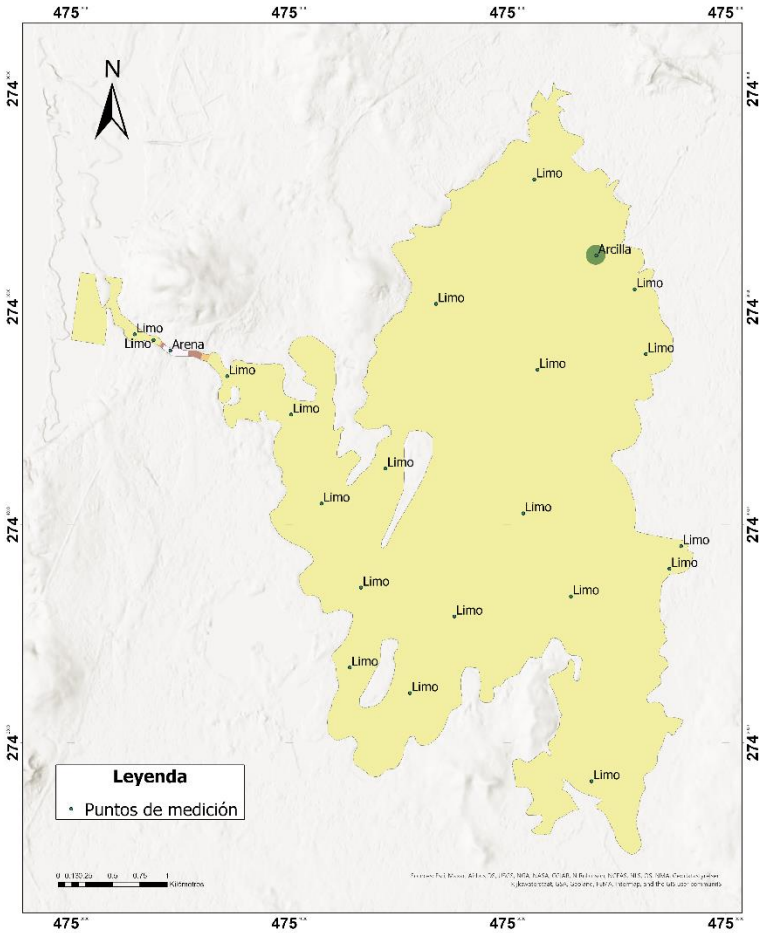


Figura 125. Zonificación de muestras de fondo. Ciénaga del Totumo.

9.1 Caracterización geomorfológica

Con base en el modelo extendido desarrollado en HEC-HMS, se estimó el volumen total de escorrentía generado durante un periodo de retorno de 5 años. A partir de este volumen se calculó el caudal promedio anual de cada uno de los tributarios que descargan hacia la ciénaga.

Posteriormente, mediante la aplicación de la metodología RUSLE como se mostró en la Figura 119, se estimaron las concentraciones promedio de sedimentos para cada subcuenca. Estas concentraciones se ajustaron considerando los resultados de los apiques realizados en campo, los cuales indicaron que aproximadamente el 70 % del material analizado pasa por el tamiz N° 200, es decir, corresponde a partículas finas tipo limo.

Con esta información, se definieron las condiciones de borde de entrada de sedimentos al modelo sedimentológico, diferenciando la fracción de limos y arenas, como se presenta a continuación:

Tabla 30. Concentración de sedimentos por arroyo.

Arroyo	Caudal (10^3 m^3 / 5 años)	m^3/año	Ton/año	Ton/m^3	mg/L	mg/L - Limos	mg/L - Arenas
Sabana	64935.2	12987040	475.1	3.658E-05	36.6	25.6	10.97
Maravillas	25316.2	5063240	175.4	3.463E-05	34.6	24.2	10.39
Ronco	445722.6	89144520	1786.7	2.004E-05	20.0	14.0	6.01
Calabrisa	54561.4	10912280	437.6	4.010E-05	40.1	28.1	12.03
Roberto	85151.4	17030280	441.1	2.590E-05	25.9	18.1	7.77
Caño Late	33725.5	6745100	172.0	2.550E-05	25.5	17.8	7.65

Por otro lado, para definir los parámetros físicos del fondo cohesivo, se consideraron los rangos propuestos por Tao et al. (2024), quienes reportan que un sedimento limoso-arcilloso puede presentar un esfuerzo crítico de erosión (τ_e, en $N \cdot m^{-2}$) entre 0.02 y 0.8. A partir de este intervalo, se realizaron pruebas con diferentes valores dentro del rango, seleccionándose finalmente un valor de τ_e = 0.05 $N \cdot m^{-2}$ por ser el que mejor reproducía condiciones consistentes con las concentraciones de sedimentos observadas.

9.2 Resultados de modelo hidrosedimentológico

Este apartado presenta los principales resultados obtenidos mediante la simulación del modelo sedimentológico para un evento de precipitación con periodo de retorno de 2 años. Se analizan los cambios en la concentración de sedimentos en suspensión y la evolución morfológica del fondo de la Ciénaga del Totumo, considerando distintos escenarios espaciales de precipitación y diferentes tamaños de sedimentos.

9.2.1 Modelo hidrosedimentológico para limos

En una primera etapa, se modeló el comportamiento del sistema considerando exclusivamente el aporte de limos por parte de los arroyos tributarios, que representan aproximadamente el **70 %** del total de sedimentos generados por la cuenca (ver Tabla 30). La Figura 126 muestra el mapa de concentración de sedimentos en la ciénaga, donde se evidencia que cada arroyo contribuye significativamente al aumento de partículas en suspensión. Además, se observa una intensificación de la concentración debido a la erosión superficial localizada en las bocas de los tributarios, lo que incrementa la movilidad del limo dentro del sistema.

Los escenarios con precipitación distribuida sobre toda la cuenca presentan mayores niveles de concentración y transporte, mientras que en los casos zonificados (zona norte, media o alta), la distribución espacial de sedimentos varía, afectando diferencialmente las regiones norte y sur de la ciénaga.

Las Figura 127 a Figura 130 representan el mapa espacial del cambio en el fondo (bed change) de la Ciénaga del Totumo, generado mediante el modelo sedimentológico tras un evento de precipitación con periodo de retorno de 2 años, considerando diferentes distribuciones espaciales de lluvia. El mapa distingue las zonas con deposición (tonalidades azules) y erosión (tonalidades rojas), utilizando una escala de cambio expresada en milímetros.

Se observa que la magnitud de los cambios en la topografía del fondo es generalmente baja, con variaciones no superan 1 mm. Los depósitos más notorios se concentran en las proximidades de las desembocaduras de los arroyos tributarios, donde los sedimentos tienden a acumularse. Por otro lado, se identifican zonas puntuales de erosión (en rojo) distribuidas principalmente a lo largo de los bordes del cuerpo de agua y en sectores cercanos a las entradas de flujo. Estas áreas coinciden con

condiciones locales de mayor velocidad, que inducen la re-suspensión de sedimentos previamente depositados, aunque con un efecto limitado en la morfología general del fondo.

Estos resultados son consistentes con el comportamiento de cuerpos de agua de baja energía, donde los procesos de sedimentación y re-suspensión ocurren principalmente en sectores específicos, sin provocar alteraciones morfológicas significativas a corto plazo.

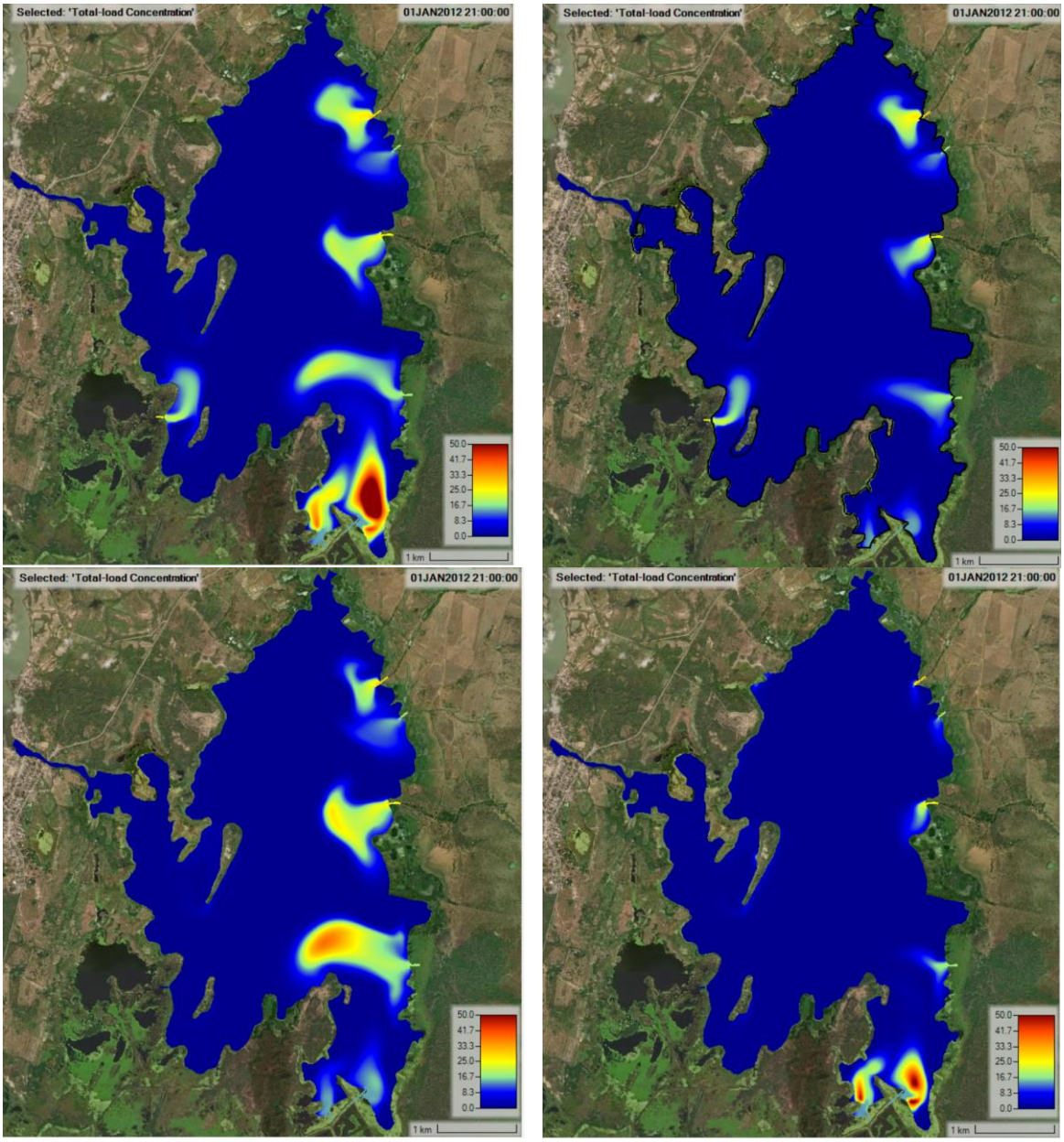


Figura 126. Concentración de sedimentos en Ciénaga del Totumo para todos los escenarios. T=2 años en toda la cuenca, zona norte, media, sur.

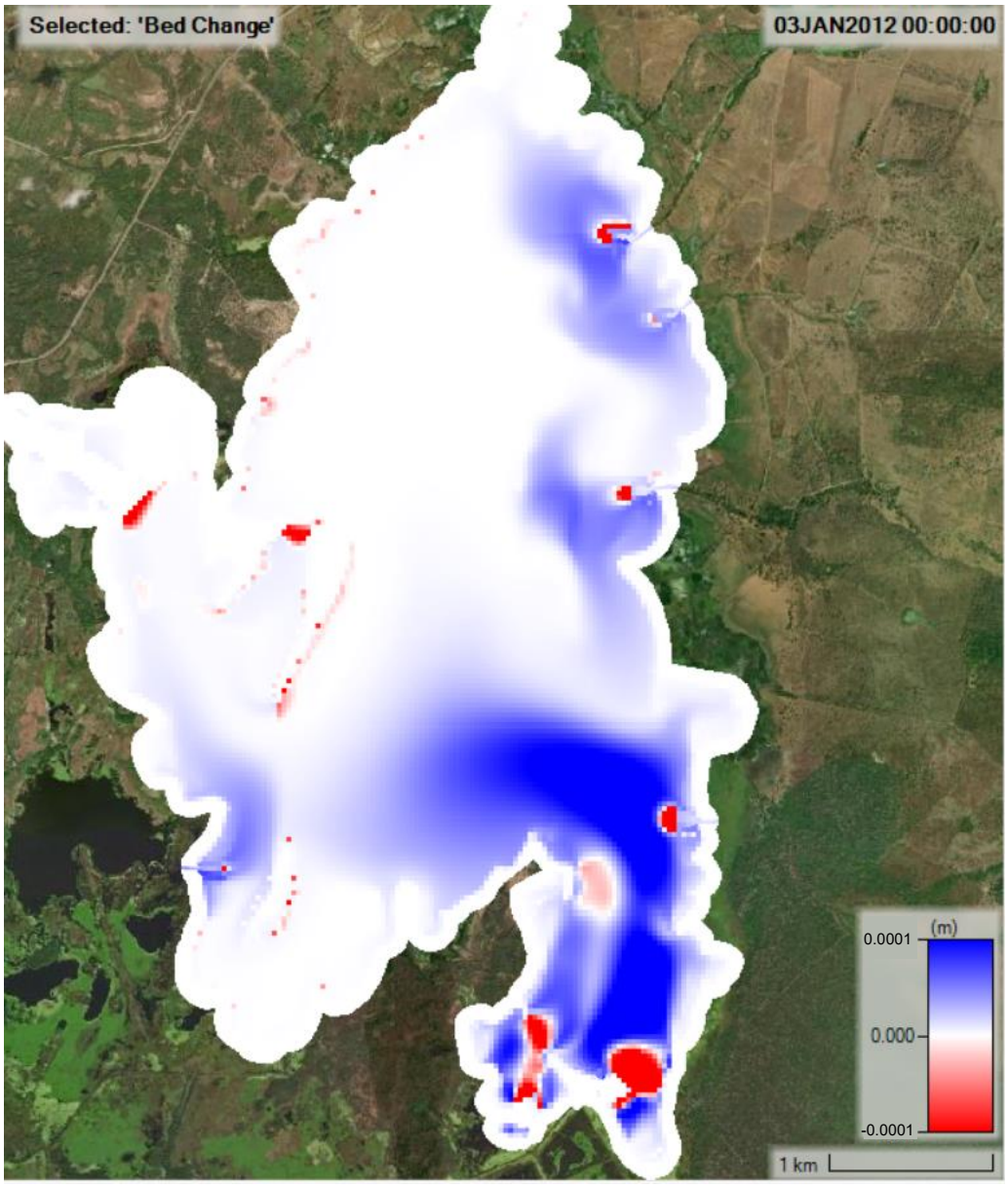


Figura 127. Mapa de cambios en el fondo para todos los escenarios. T=2 años en toda la cuenca.

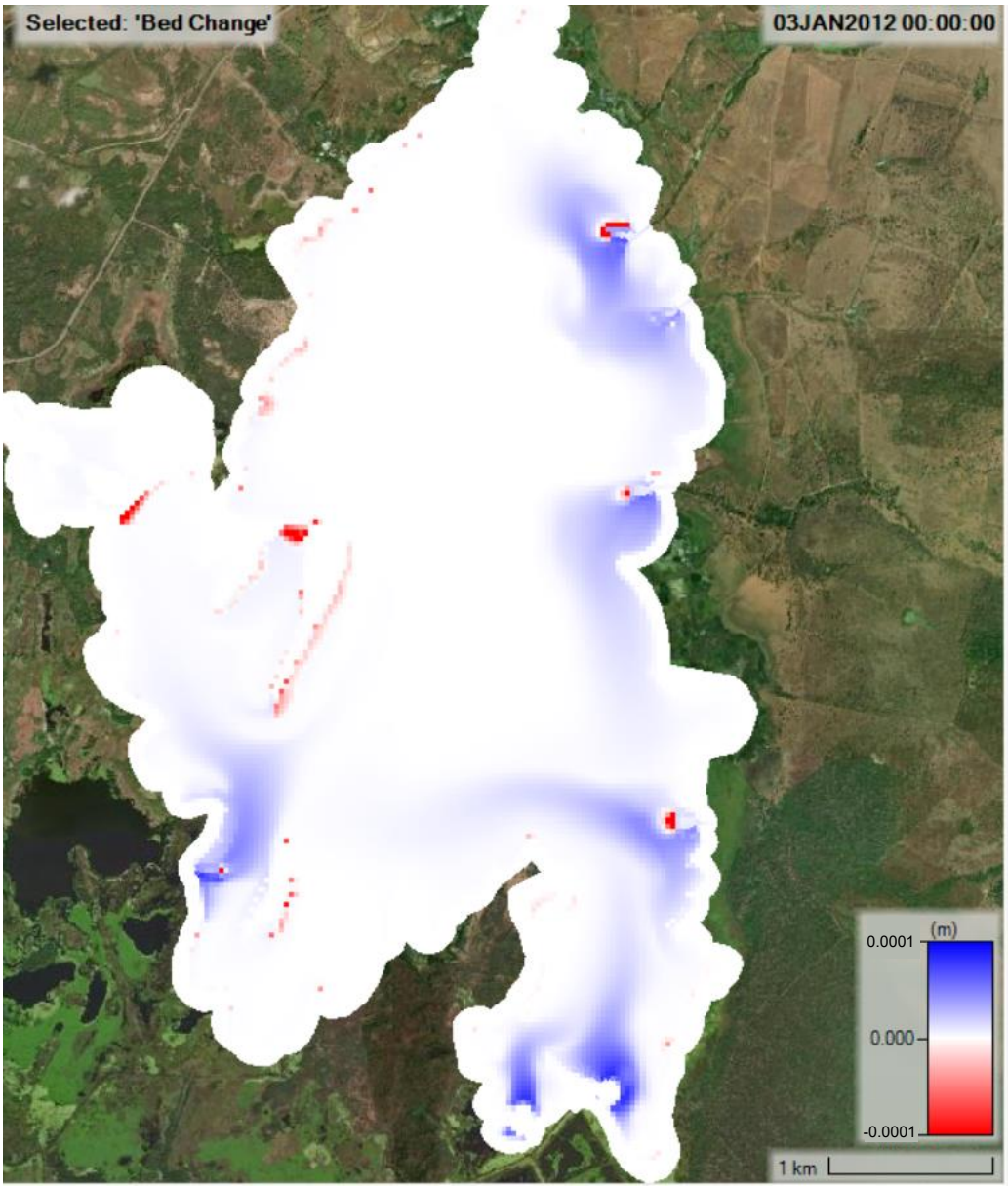


Figura 128. Mapa de cambios en el fondo para todos los escenarios. T=2 años zona norte.

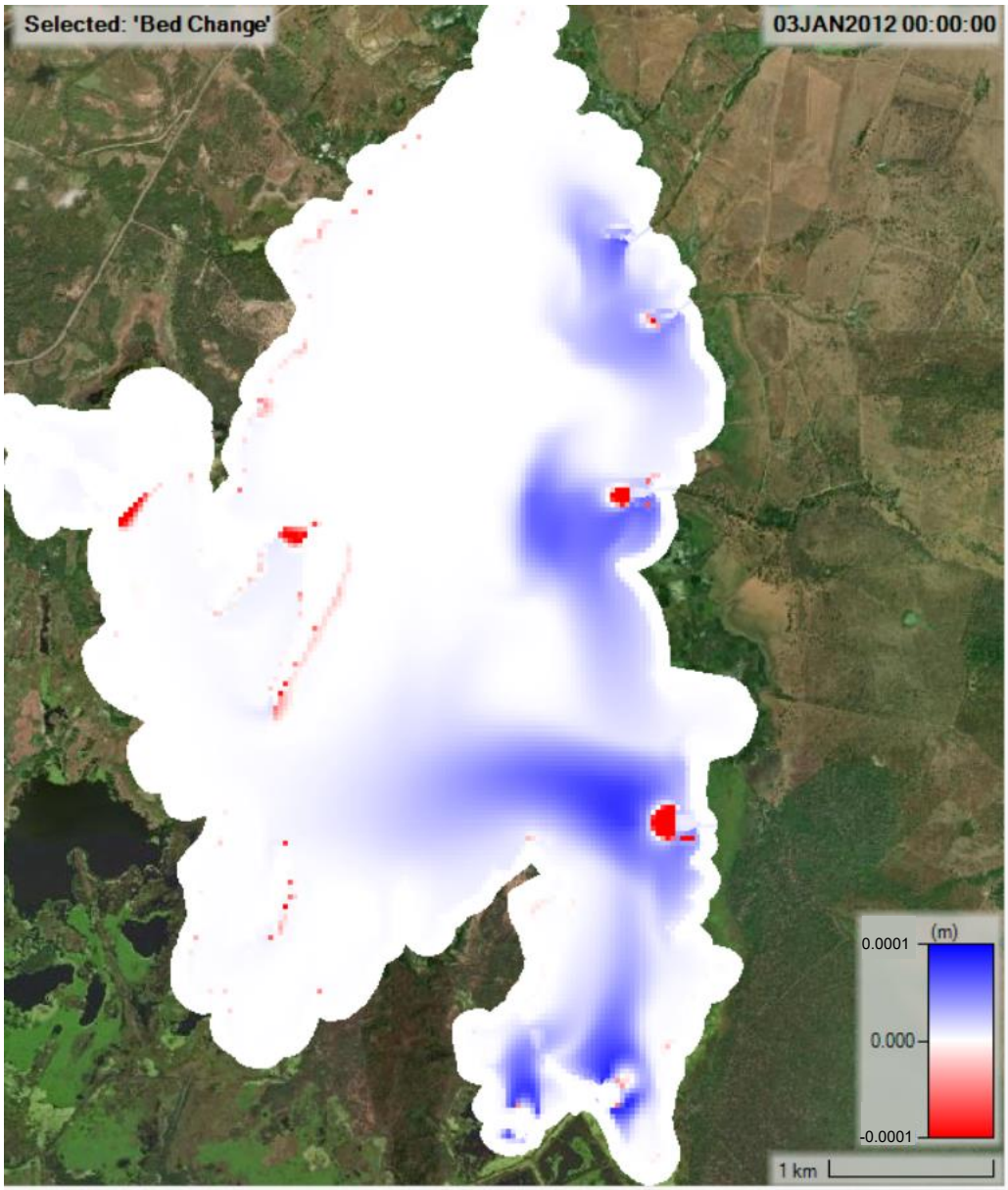


Figura 129. Mapa de cambios en el fondo para todos los escenarios. T=2 años zona media.

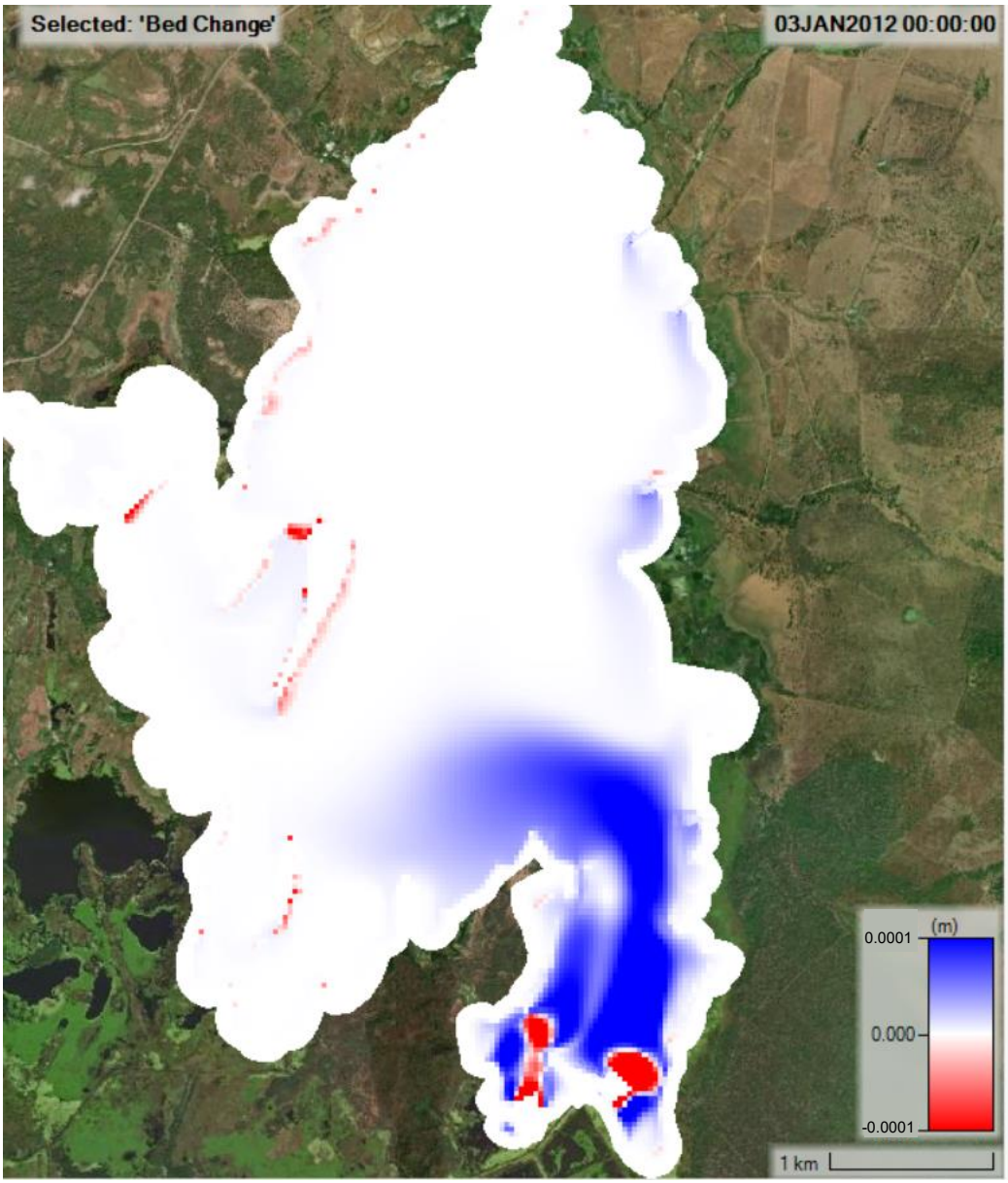


Figura 130. Mapa de cambios en el fondo para todos los escenarios. T=2 años zona sur.

En cuanto a la evolución de la concentración de limos finos en la columna de agua, el modelo muestra que se alcanzan valores promedio de aproximadamente 6 mg/L, cifra que muestra que hay movimiento en las ciénagas. Con el paso del tiempo, esta concentración tiende a disminuir progresivamente, debido a la sedimentación de las partículas en el fondo.

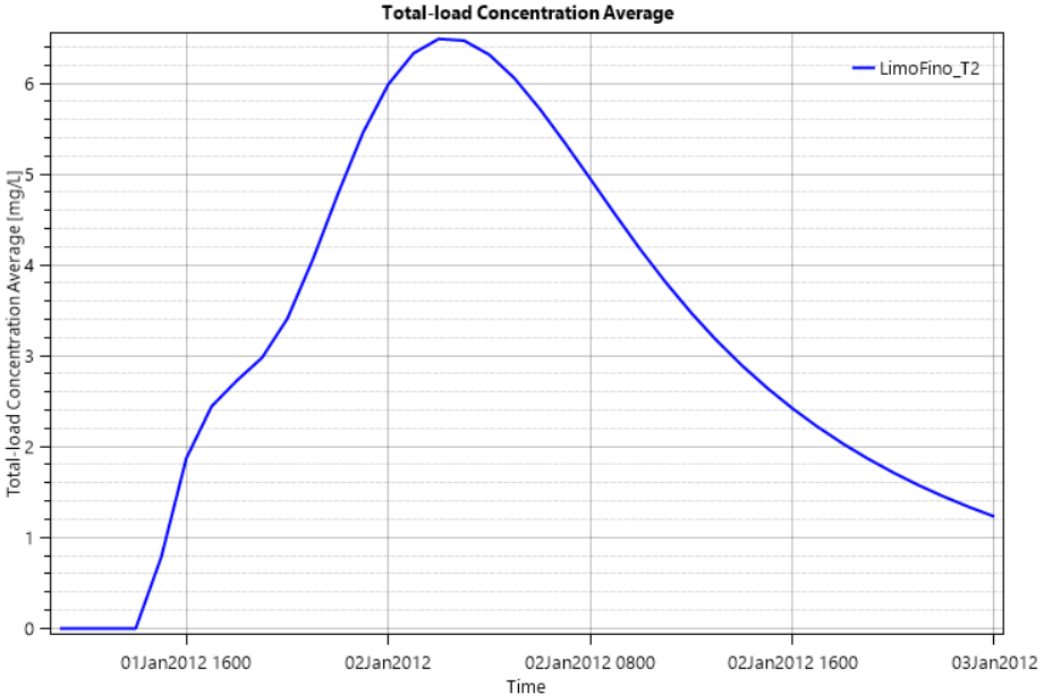


Figura 131. Evolución de la concentración promedio de limos finos en la ciénaga. Tr = 2 años.

La Figura 132 muestra el comportamiento del fondo de la ciénaga durante un evento de precipitación significativo. Los caudales generados por los arroyos inducen una leve erosión del fondo, lo cual provoca la re-suspensión de sedimentos previamente depositados. Finalizado el evento, estos sedimentos tienden a depositarse junto con una pequeña fracción adicional proveniente de la cuenca. Este proceso da lugar a una variación neta muy reducida en la topografía del fondo, del orden de 0.006 mm, correspondiente al evento de precipitación con período de retorno de 2 años. Este valor representa el balance entre los procesos de erosión y deposición ocurridos durante dicho evento, integrado sobre toda el área de la Ciénaga del Totumo.

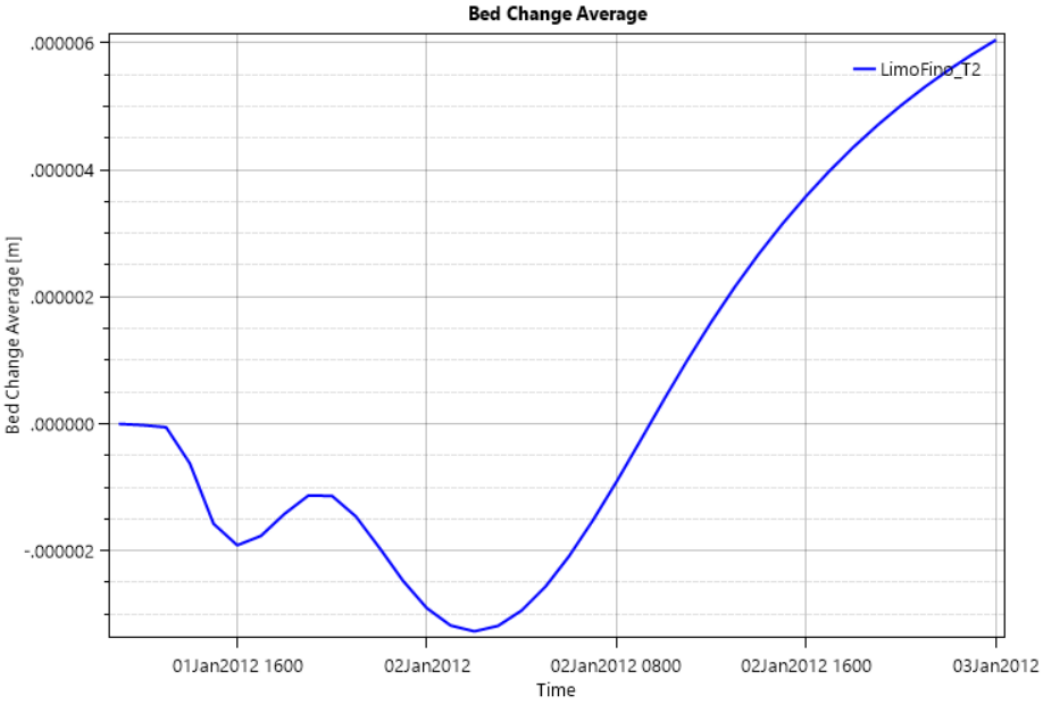


Figura 132. Variación del fondo promedio en la ciénaga para limos finos. Tr = 2 años.

Adicionalmente, con base en la zonificación definida (Figura 124), se realizó un análisis celda por celda del cambio de fondo para el evento Tr = 2 años, cuyos resultados están representados en forma de boxplots (Figura 133).

Los valores máximos de sedimentación por zona muestran diferencias significativas entre sectores:

- Zonas 4 y 5 presentan los mayores valores máximos, con acumulaciones que superan 0.15 mm bajo densidad consolidada (ρ = 2.65 g/cm³) y alcanzan hasta 1.0 mm bajo densidad aparente (ρ = 0.5 g/cm³). Esto sugiere una fuerte influencia de tributarios cercanos, que favorecen la deposición.
- Zonas 8 y 11 también registran acumulaciones elevadas, particularmente en condición no consolidada, donde los máximos superan 0.6 mm. La dispersión observada indica una sedimentación más variable y dependiente de eventos específicos.
- En contraste, Zonas 9, 10 y 12 muestran los valores más bajos, por debajo de 0.025 mm (consolidado) y 0.1 mm (bulk), lo que refleja una actividad sedimentaria reducida. Estas áreas corresponden a zonas más profundas, alejadas de los principales flujos de aporte.

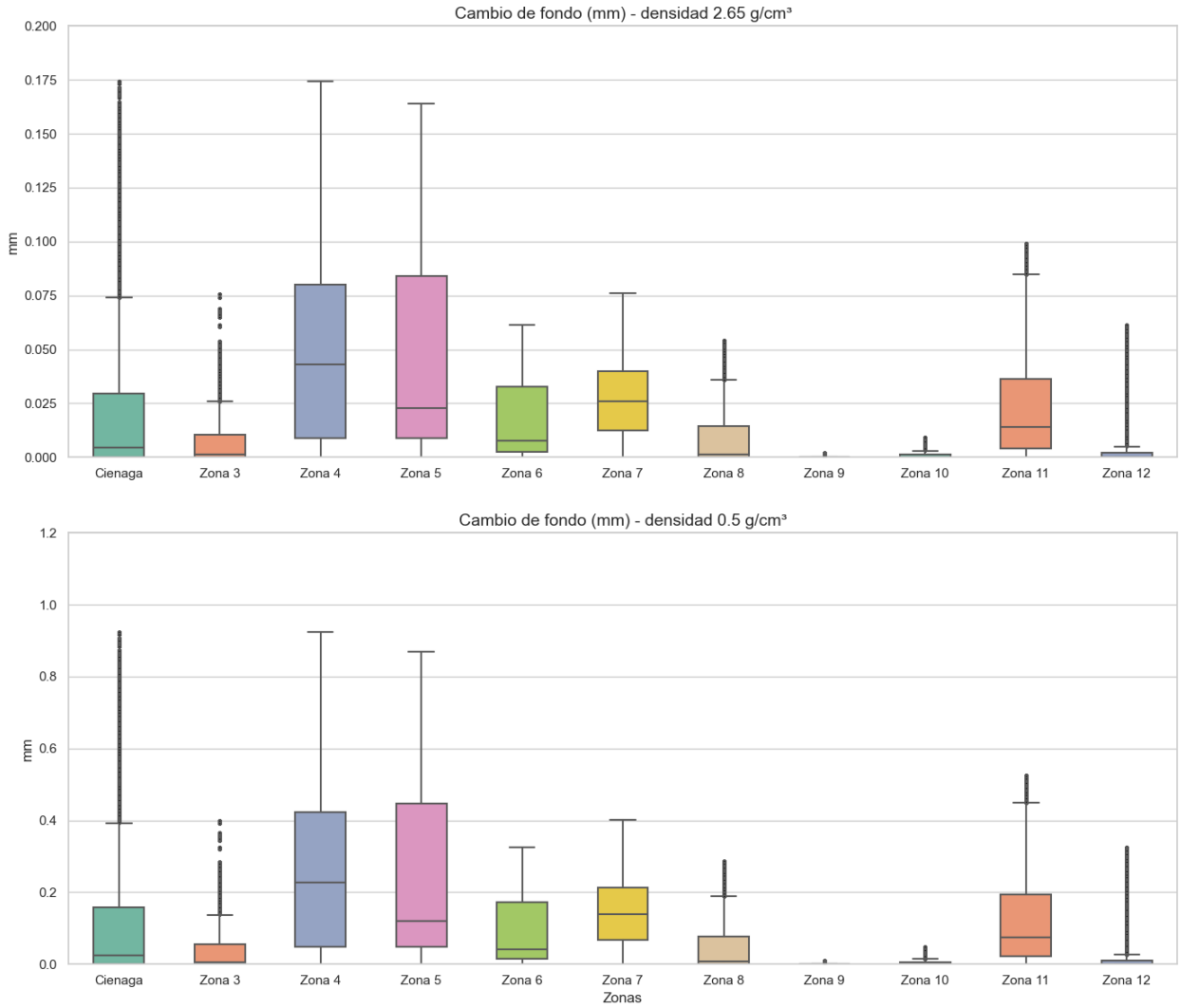


Figura 133. Boxplot del cambio de fondo por zona para densidades 2.65 g/cm³ (consolidado) y 0.5 g/cm³ (bulk), Tr = 2 años.

9.2.2 Modelo hidrosedimentológico para arenas finas

Para simular el comportamiento de arenas finas en el sistema, el primer paso fue calibrar la fórmula de carga total propuesta por Wu et al. (2000). Esta formulación fue desarrollada para representar el transporte de sedimentos no uniformes, y se fundamenta en una extensa base de datos obtenida mediante ensayos en laboratorio y observaciones de campo, lo que la hace adecuada para modelar condiciones naturales complejas.

El enfoque de Wu integra dos componentes principales:

- Para la carga de fondo, utiliza una formulación no lineal basada en el exceso de esfuerzo cortante, lo que permite capturar adecuadamente la iniciación del movimiento de partículas y su arrastre sobre el lecho.
- Para la carga en suspensión, se basa en la potencia del flujo (stream power), considerando la capacidad energética del sistema para mantener partículas en suspensión a lo largo del perfil de flujo.

Dado que esta fórmula permite modelar mezclas granulométricas y ha sido validada en entornos reales, se consideró apropiada para representar el comportamiento sedimentológico de los arroyos afluentes a la Ciénaga del Totumo.

Durante la calibración, se buscó que las concentraciones simuladas de arenas finas a la entrada de la ciénaga coincidieran con los valores medios aportados por la cuenca, conforme a los datos presentados en la Tabla 30. La Figura 134 muestra la evolución de dichas concentraciones en las bocas de los principales arroyos. Las curvas reflejan la forma del hidrograma de entrada y presentan valores promedio entre 7 y 12 mg/L, en línea con los aportes esperados.

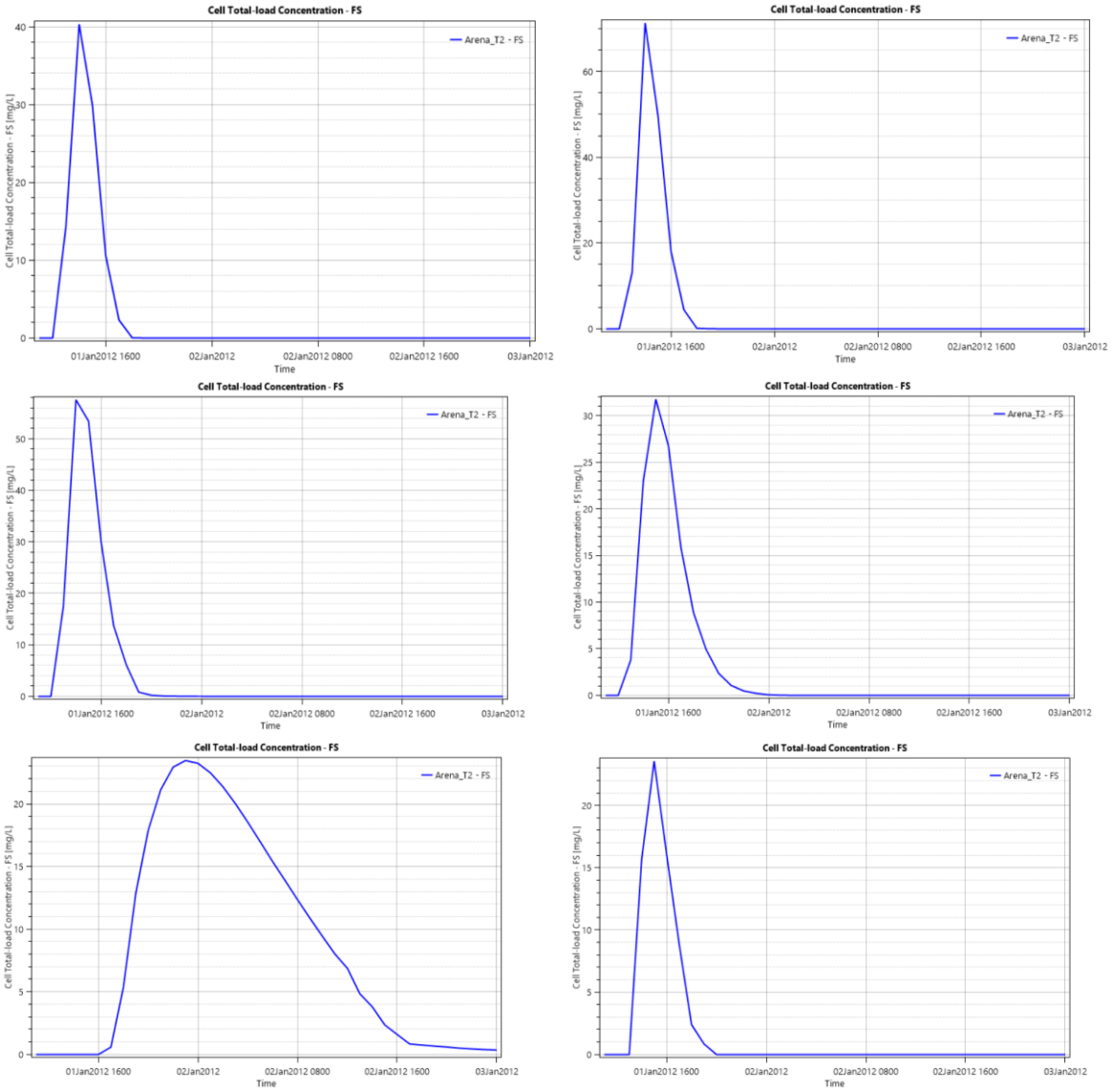


Figura 134. Concentración de arenas finas en bocas de los arroyos principales.

En cuanto a la distribución espacial del sedimento, el modelo evidenció una dinámica distinta a la de los limos. Tal como se observa en la Figura 135, los procesos de erosión se concentran en el canal de entrada, mientras que la deposición se limita a las inmediaciones de las bocas de los arroyos. Esto es coherente con el mayor tamaño y peso específico de las partículas de arena, que dificultan su transporte hacia el interior del cuerpo de agua.

La Figura 135 a la Figura 138 detallan la distribución espacial del cambio en el fondo por zonas. Se evidencian zonas de deposición bien definidos en las zonas de desembocadura, con acumulación

localizada. Este comportamiento concuerda con los resultados de campo, donde los aforos dentro de la ciénaga detectaron mayoritariamente limos, mientras que las arenas se concentran en las entradas.

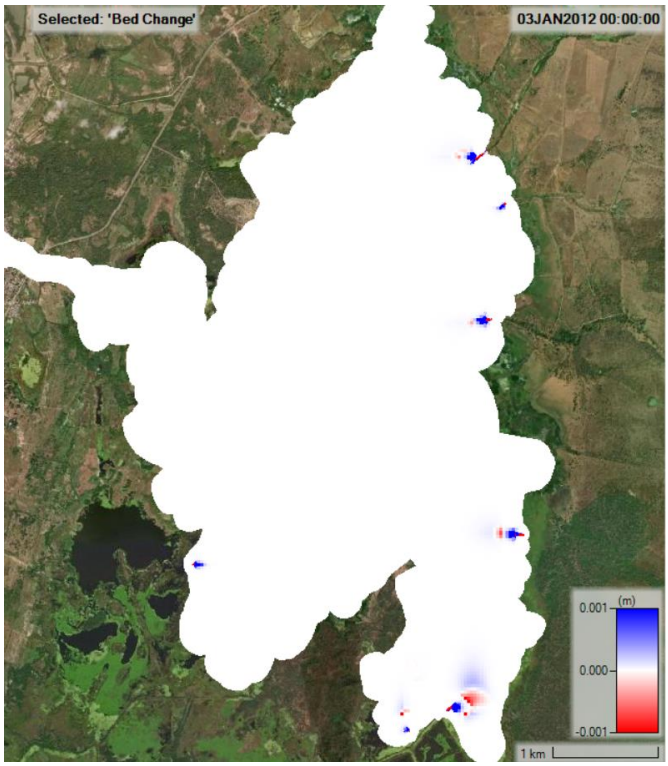


Figura 135. Distribución de cambios en el fondo para arenas finas. Tr = 2 años.

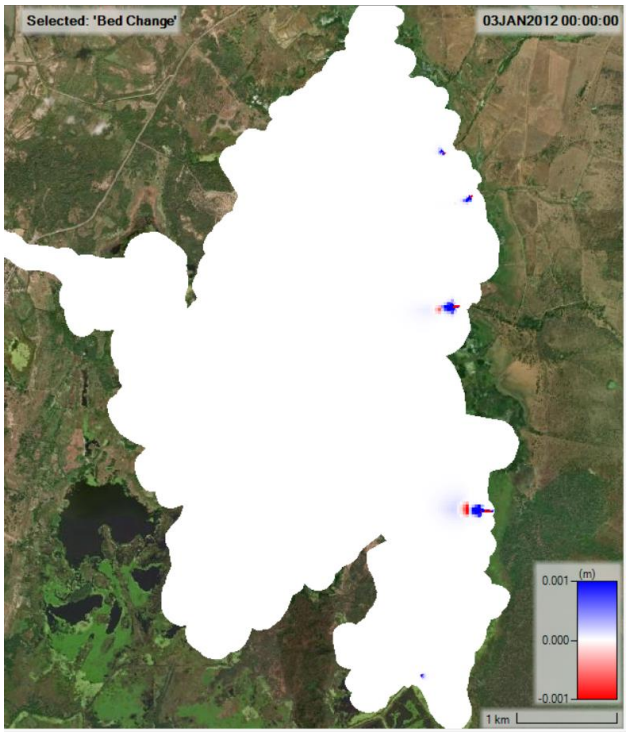


Figura 136. Distribución de cambios en el fondo para arenas finas. Tr = 2 años, zona norte.

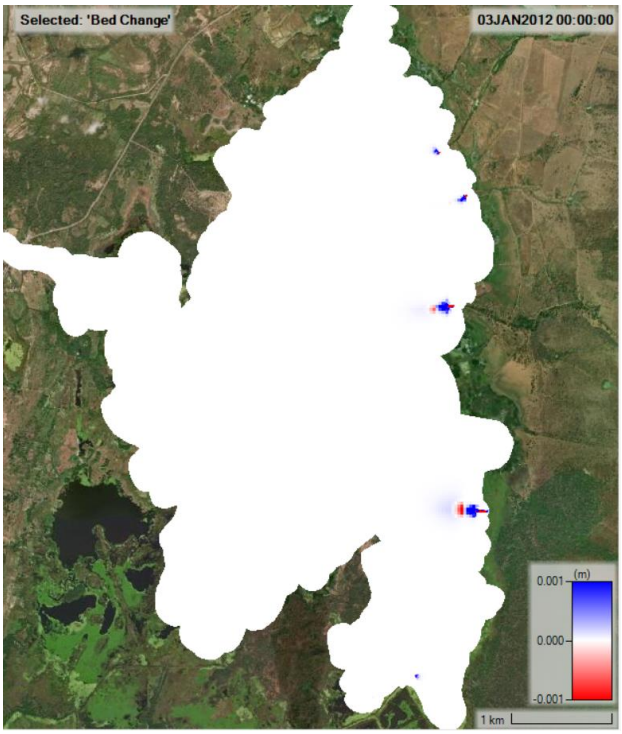


Figura 137. Distribución de cambios en el fondo para arenas finas. Tr = 2 años, zona media.

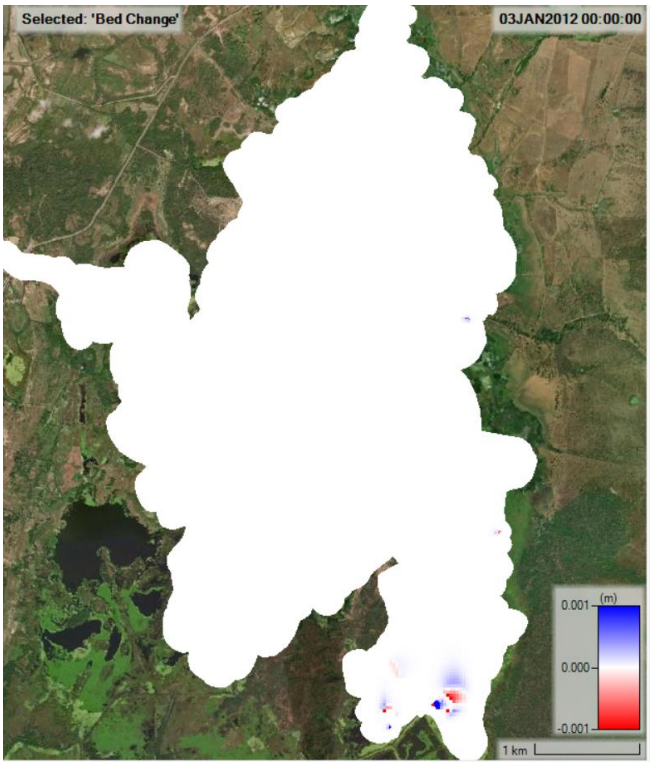


Figura 138. Distribución de cambios en el fondo para arenas finas. Tr = 2 años, zona sur.

9.3 Análisis prospectivo del nivel del lecho de la ciénaga

El análisis de la evolución morfológica del fondo de la Ciénaga del Totumo evidencia una tendencia acumulativa de sedimentación a lo largo del tiempo. La Figura 139 muestra la variación histórica del nivel del lecho, simulada a partir de la acumulación de eventos de precipitación representativos entre los años 1979 y 2025.

Para el análisis se consideraron dos densidades de referencia:

- 2.65 g/cm³, correspondiente a material sedimentario consolidado.
- 0.5 g/cm³, denominada densidad aparente (bulk), que representa material no consolidado, altamente disperso y con alta proporción de vacíos.

Se observa un incremento progresivo en la elevación del fondo, alcanzando un cambio total estimado de 2 mm para el caso de sedimentación consolidada, y **hasta 11 mm** considerando la condición no consolidada (bulk) durante el periodo modelado.

Este comportamiento está basado en los resultados obtenidos en el escenario de Tr = 2 años, donde el cambio neto por evento fue de solo 0.006 mm. Considerando una precipitación media de 84.5 mm para dicho evento, se obtiene una tasa de acumulación del orden de 0.00007 mm de fondo por cada mm de lluvia como se muestra en la Tabla 31, lo que evidencia un proceso de sedimentación lento pero constante.

La baja magnitud del cambio en el lecho está directamente relacionada con la naturaleza fina y cohesiva del sedimento predominante (limos), así como con las bajas velocidades de flujo registradas en gran parte de la ciénaga. Esta dinámica confirma que, aunque el sistema presenta movimientos internos de partículas en suspensión —principalmente inducidos por el ingreso de caudales tributarios—, los procesos de sedimentación predominan, con acumulaciones mínimas pero sostenidas en el tiempo.

Tabla 31. Parámetros de acumulación sedimentaria por evento de precipitación con Tr = 2 años

Concepto	Valor	Unidad
Cambio en el fondo para T = 2 años	0.006	mm
Lluvia para T = 2 años	84.5	mm
Tasa de cambio (ρ = 2.65 g/cm³)	0.00007	mm de fondo / mm lluvia
Tasa de cambio (ρ = 0.5 g/cm³)	0.000371	mm de fondo / mm lluvia

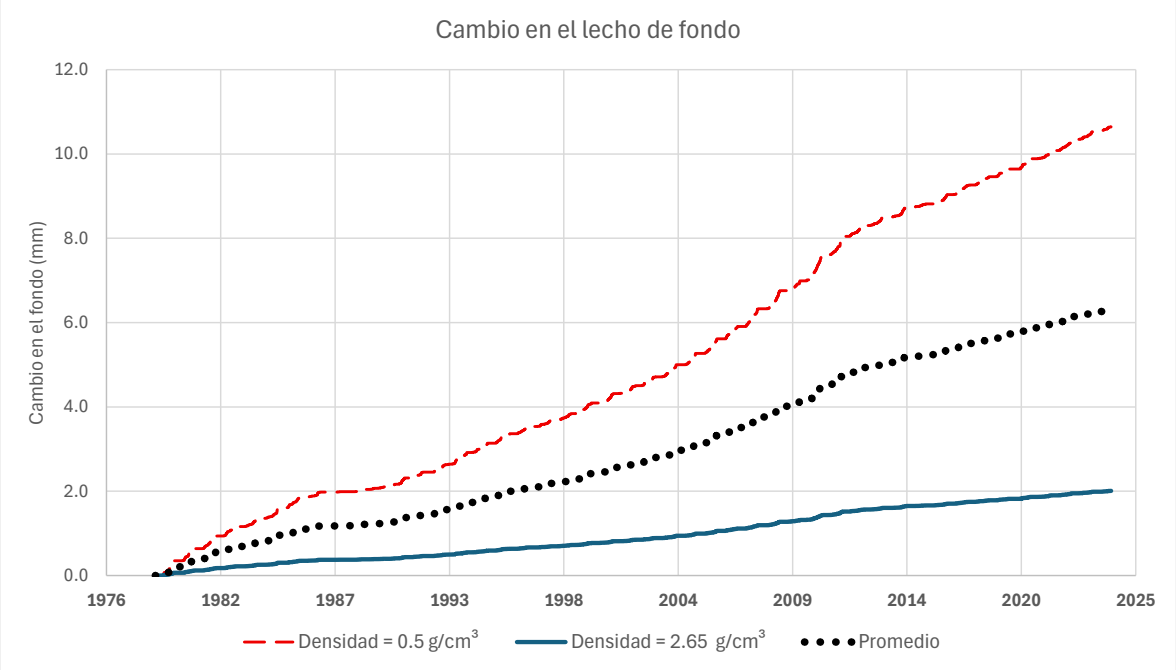


Figura 139. Evolución simulada del nivel promedio del lecho en la Ciénaga del Totumo (1979–2024).

Adicionalmente, se realizó un análisis espacial dividido en zonas de control distribuidas estratégicamente en la ciénaga y cercanías de los principales arroyos tributarios (ver Figura 140). Esta zonificación permitió evaluar la variabilidad espacial de la sedimentación.

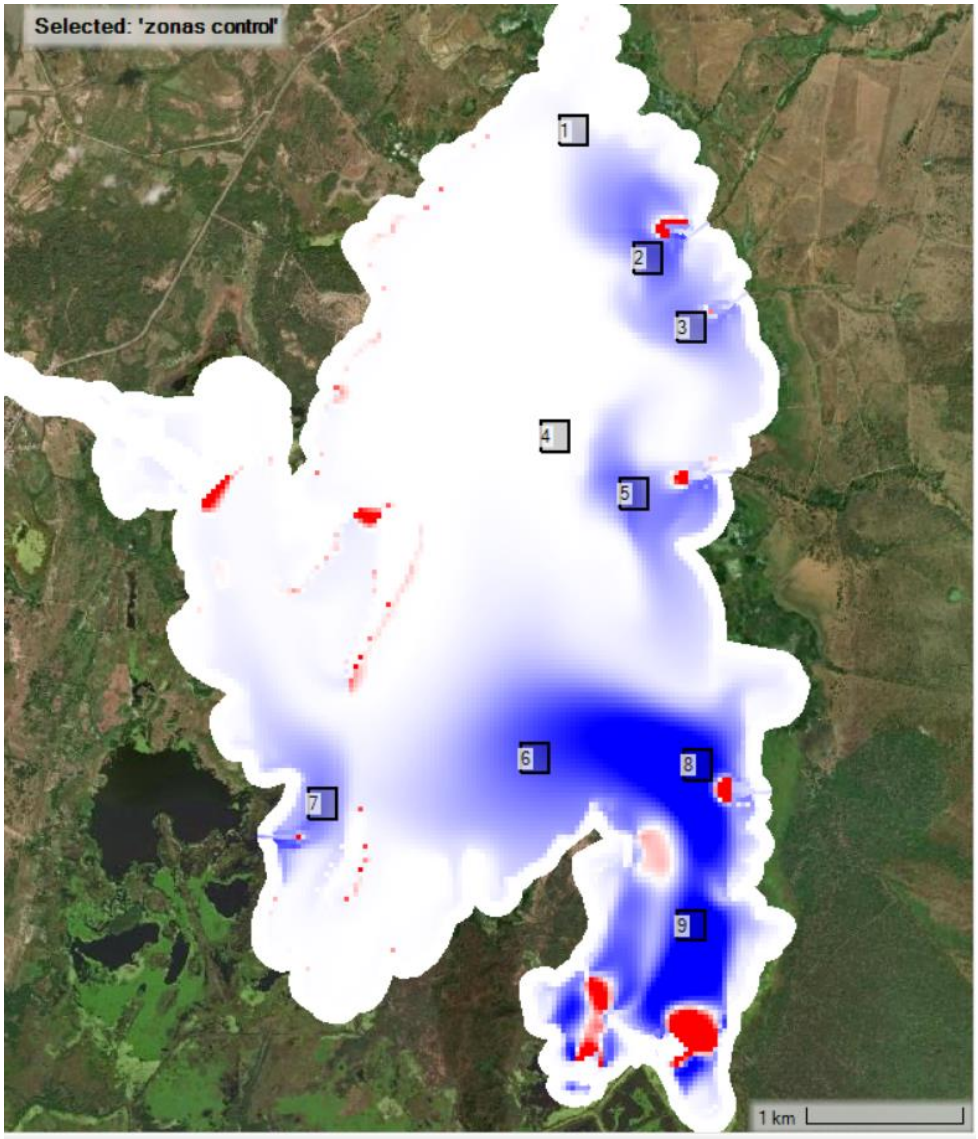


Figura 140. Zonas de análisis sedimentológico.

La Figura 141 presenta la variación del fondo en la Zona 9, donde se registró una tasa de sedimentación de 0.0017 mm/mm de lluvia (ρ = 2.65 g/cm³), superior al promedio de toda la ciénaga. La Tabla 32 resume los resultados por zona, evidenciando que las mayores tasas de acumulación se presentan en las Zonas 8 y 9 (1.6E-03 mm/mm), localizadas en áreas de descarga directa de arroyos. En contraste, la Zona 4 presenta la menor tasa, prácticamente nula, al encontrarse en el centro de la ciénaga lo que sugiere condiciones más estables o incluso con mayor potencial de re-suspensión que de deposición.

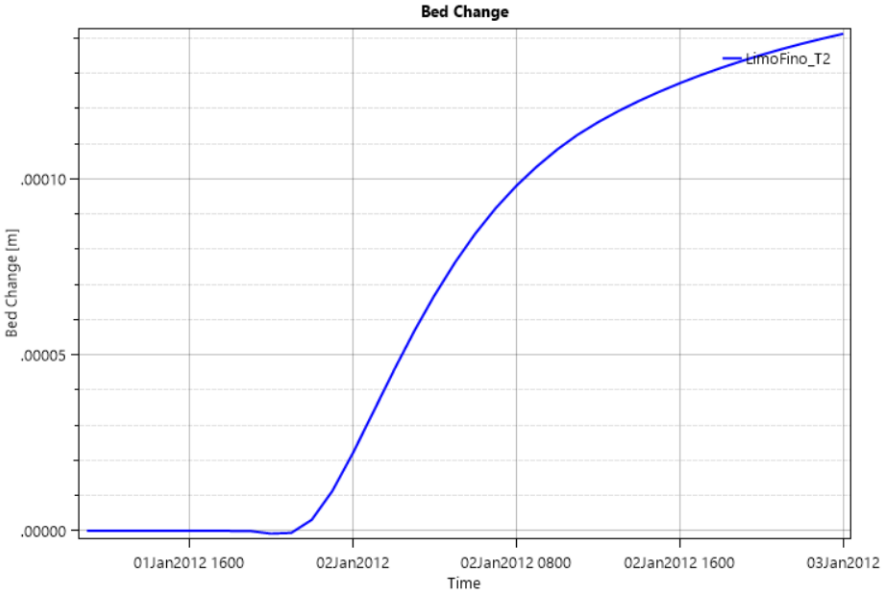


Figura 141. Variación del fondo promedio en Zona 9. Tr = 2 años.

Tabla 32. Tasas de sedimentación por zonas con evento de precipitación Tr = 2 años

Zonas	Cambio en el fondo (mm) para T = 2 años	Tasa de sedimentación (mm fondo / mm lluvia)
Zona 1	0.006	7.34E-05
Zona 2	0.054	6.39E-04
Zona 3	0.040	4.73E-04
Zona 4	0.000015	1.78E-07
Zona 5	0.054	6.39E-04
Zona 6	0.070	8.28E-04
Zona 7	0.044	5.21E-04
Zona 8	0.130	1.54E-03
Zona 9	0.140	1.66E-03

La Figura 142 muestra la evolución del fondo para la Zona 9, con un rango que varía entre 45 mm y 250 mm durante el periodo simulado (1979–2024), dependiendo de la densidad de sedimentación considerada. Este comportamiento contrasta notablemente con los valores promedios globales, destacando la fuerte influencia de la localización en los patrones de deposición.

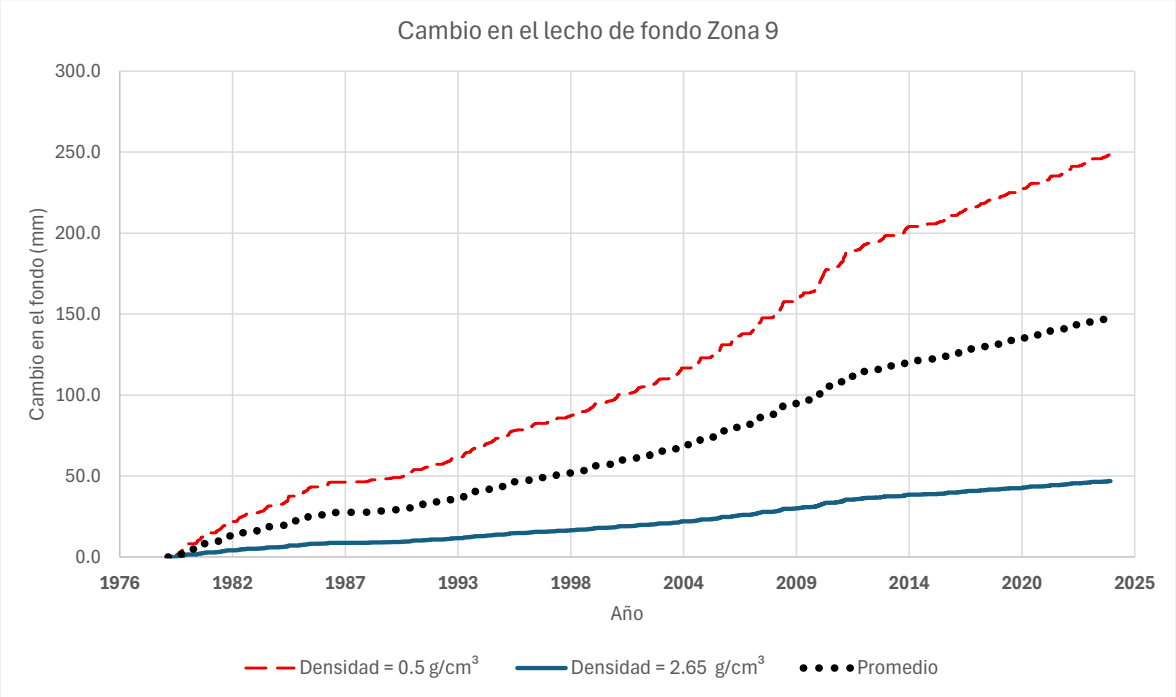


Figura 142. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 9 (1979–2024).

Por su parte, la Figura 143 detalla las variaciones por evento (Tr = 2 años) para todas las zonas. Se observa que las zonas con mayor actividad sedimentaria corresponden a aquellas que presentan una interacción hidráulica más intensa con los flujos entrantes, principalmente en sectores del sur.

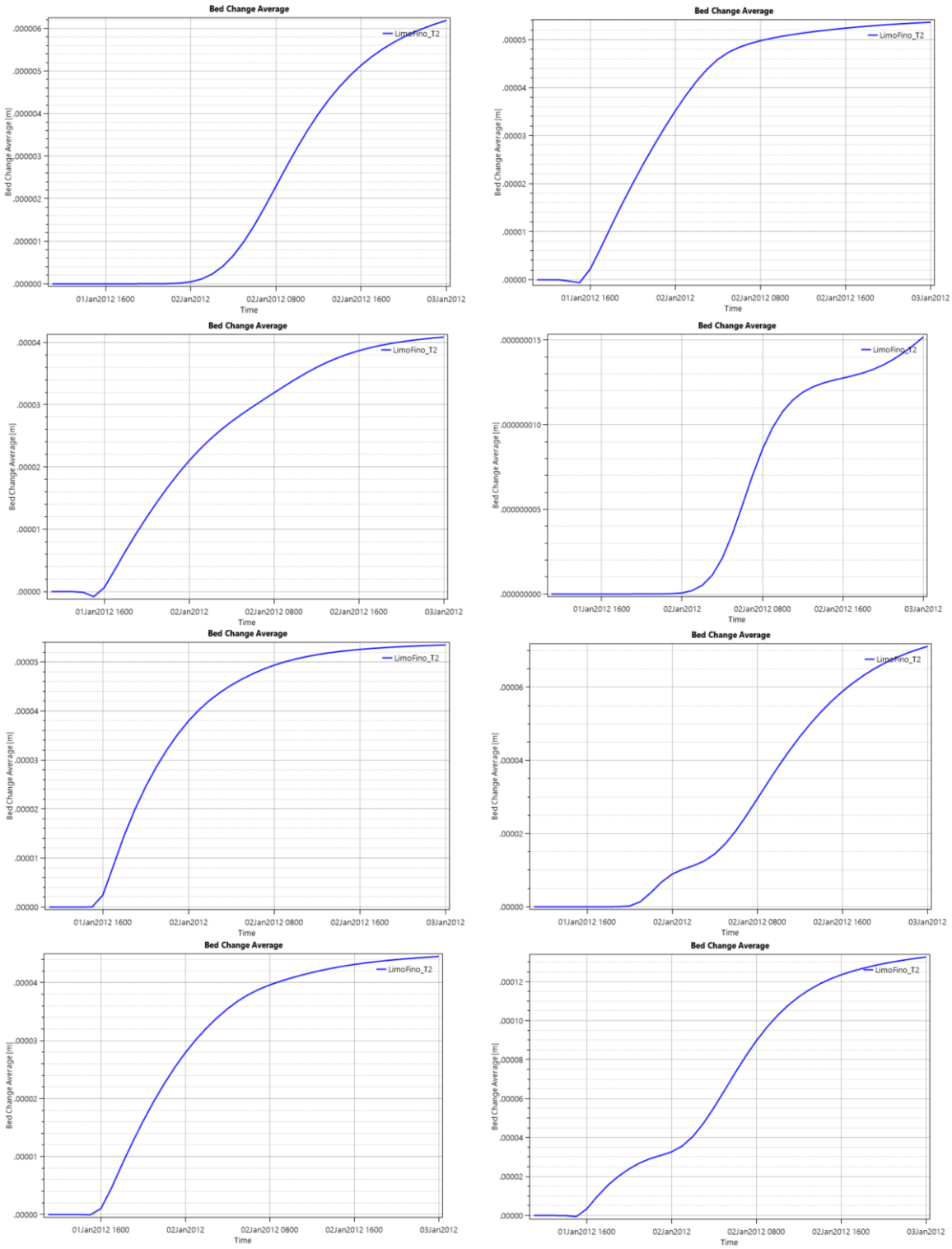


Figura 143. Variación del fondo promedio para Zona 1 al 8. Tr = 2 años.

De manera complementaria, las Figura 144 a la Figura 151 presentan la evolución histórica simulada del nivel del lecho en cada una de las zonas. Aunque todas muestran una tendencia acumulativa a lo largo del tiempo, se identifican diferencias significativas en cuanto a la magnitud y pendiente de acumulación.

Los valores totales acumulados oscilan entre:

- 0.005 mm (ρ = 2.65 g/cm³) y 0.0265 mm (ρ = 0.5 g/cm³) en la Zona 4, ubicada en el centro de la ciénaga, donde el dinamismo hidráulico es bajo.
- Hasta 45 mm (ρ = 2.65 g/cm³) y 238 mm (ρ = 0.5 g/cm³) en zonas cercanas a los arroyos del sector sur, donde la influencia directa de los caudales tributarios incrementa significativamente el aporte de sedimentos.

Estos resultados confirman que los procesos de sedimentación en la Ciénaga del Totumo son altamente variables y espacialmente heterogéneos, determinados principalmente por la dinámica hidráulica local, la energía de transporte y la proximidad a fuentes activas de carga sólida.

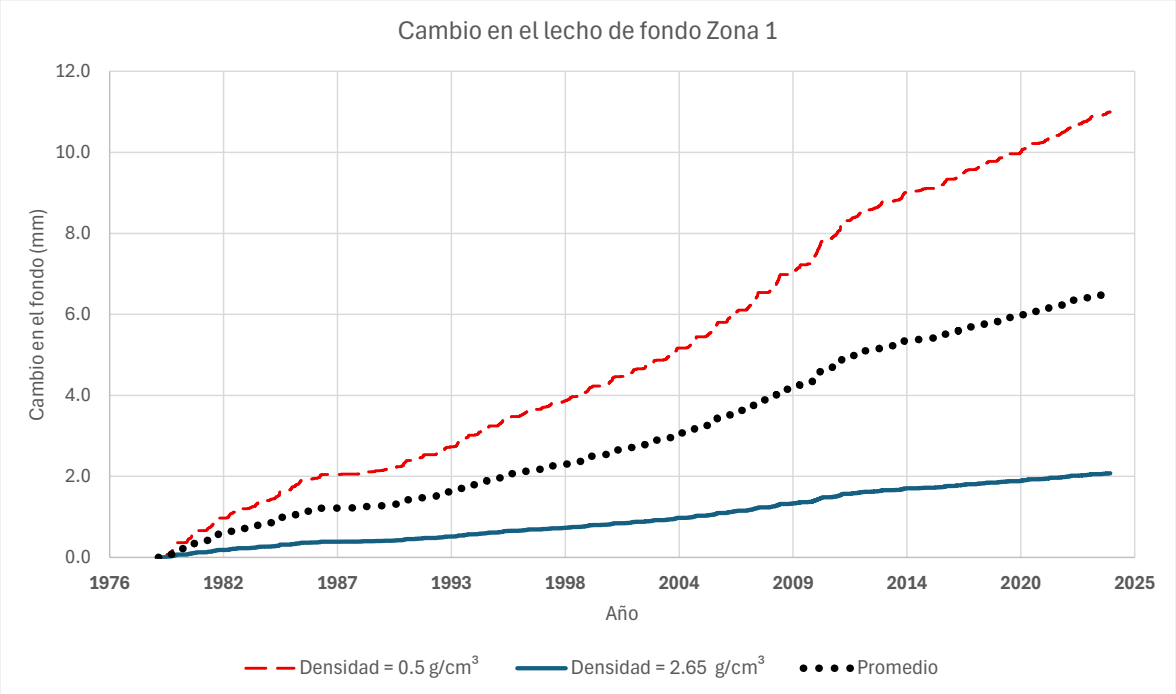


Figura 144. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 1 (1979–2024).

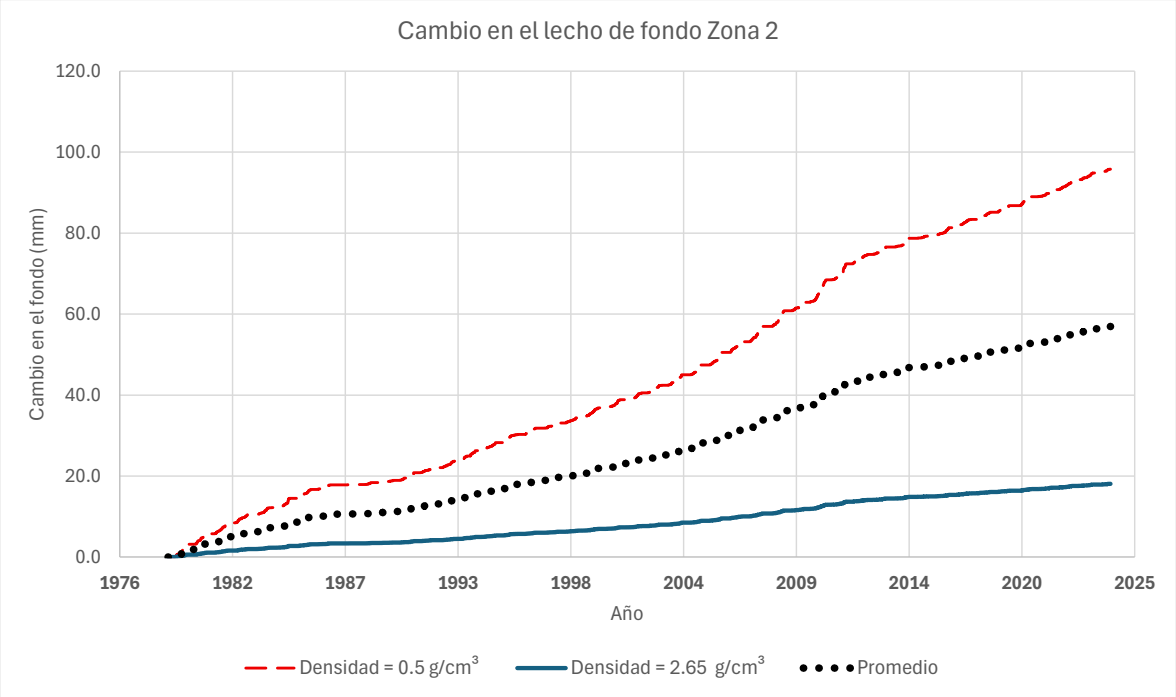


Figura 145. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 2 (1979–2024).

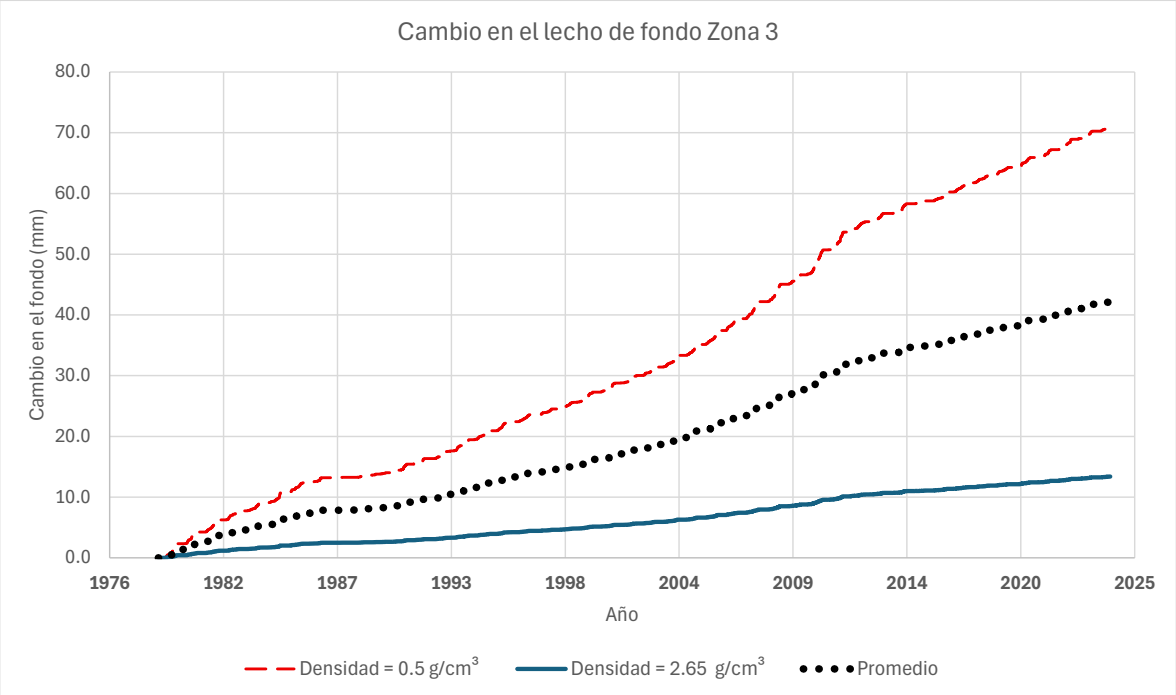


Figura 146. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 3 (1979–2024).

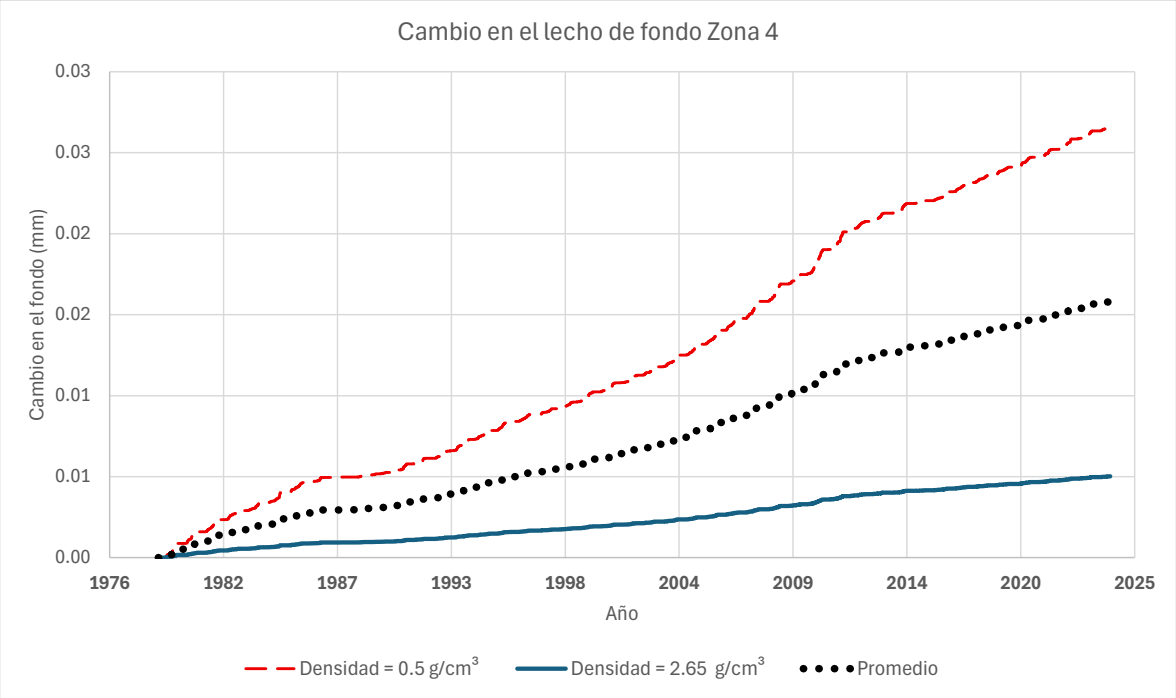


Figura 147. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 4 (1979–2024).

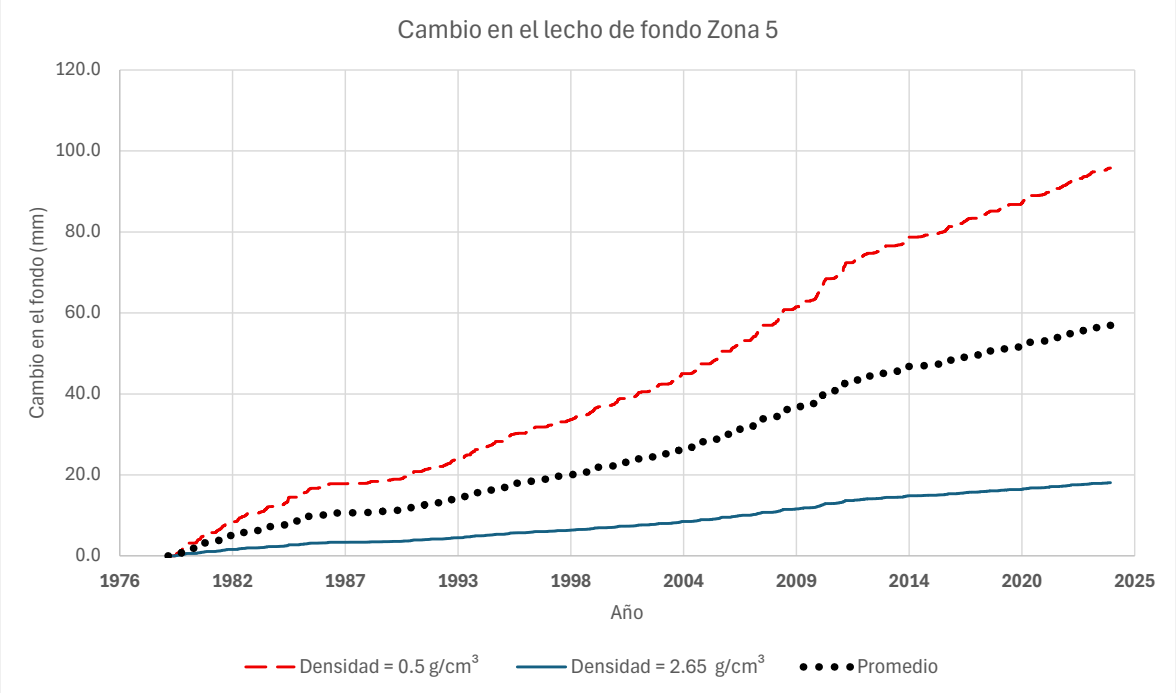


Figura 148. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 5 (1979–2024).

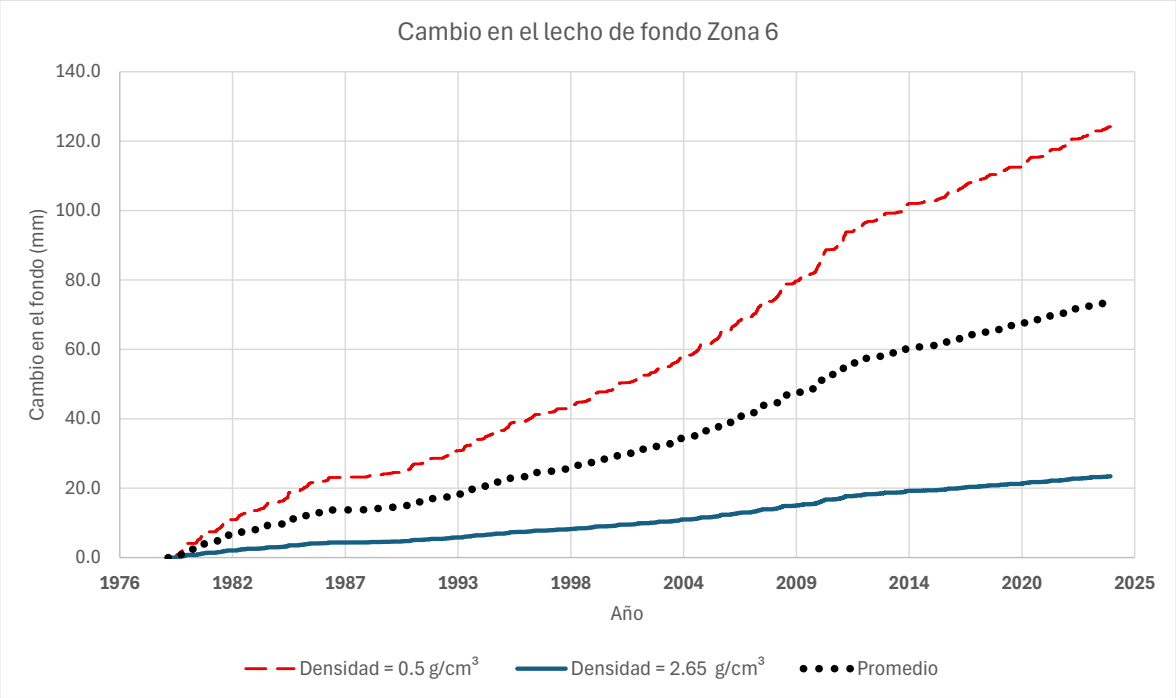


Figura 149. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 6 (1979–2024).

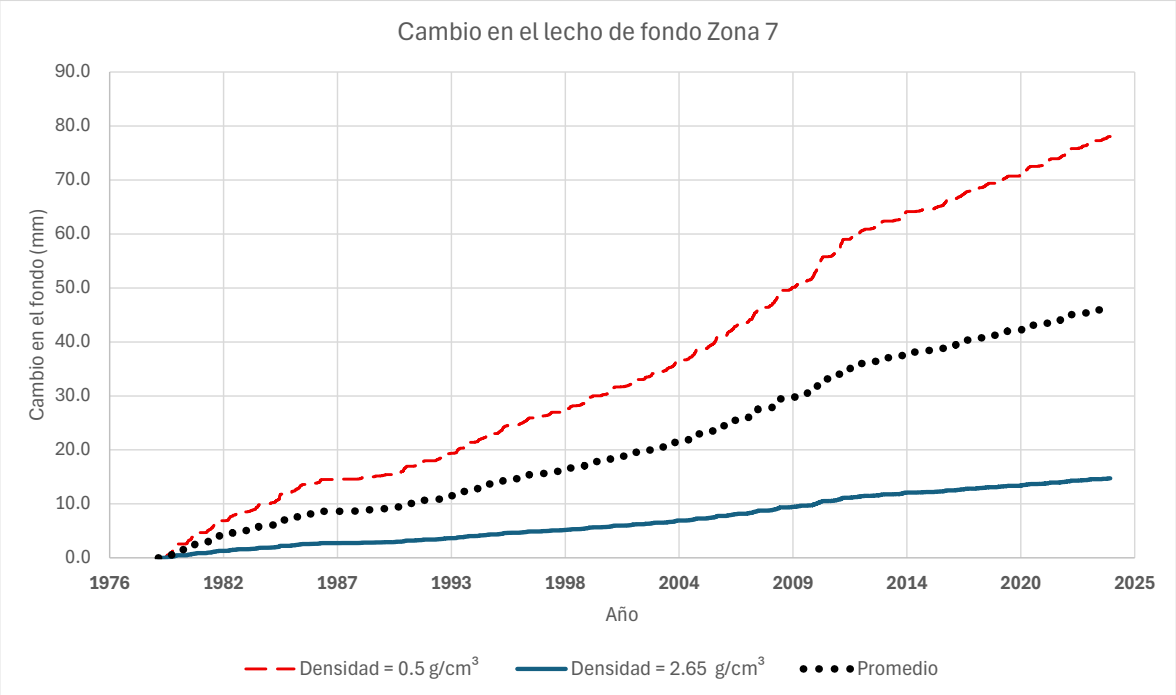


Figura 150. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 7 (1979–2024).

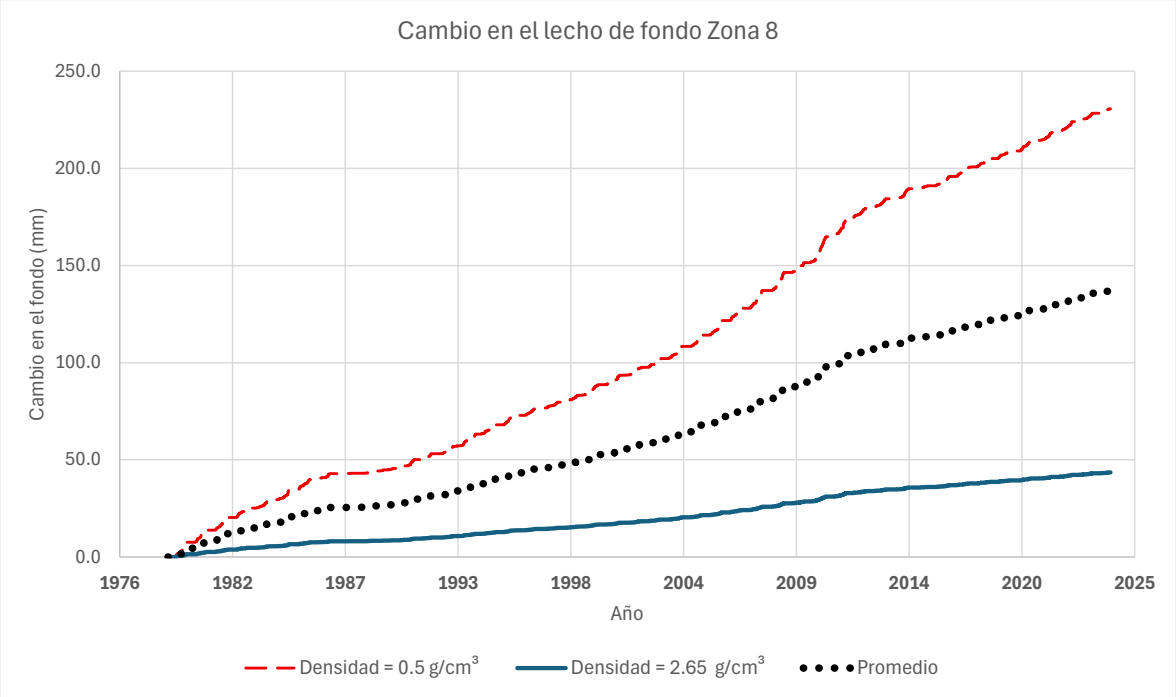


Figura 151. Evolución simulada del nivel promedio del lecho para Zona 8 (1979–2024).

10 Propuestas de alternativas de manejo y gestión de la cuenca y ciénaga del Totumo

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio —incluyendo el análisis hidrológico, la modelación hidrodinámica y sedimentológica, el análisis multitemporal del espejo de agua y la caracterización del uso del suelo—, se formulan algunas recomendaciones orientadas a la gestión integral de la cuenca y la ciénaga del Totumo.

- **Conservación y manejo de la cuenca**

Fortalecer la cobertura vegetal, especialmente en la parte alta y media de la cuenca, que han demostrado generar los mayores aportes de caudal y sedimentos. Esto puede incluir estrategias de conservación forestal y Soluciones Basadas en la Naturaleza – SBN.

Establecer un sistema de monitoreo hidrológico y de calidad del agua mediante estaciones ubicadas en arroyos tributarios clave (Ronco, Maravillas, Roberto), con el propósito de detectar aumentos en la carga sólida y de calidad de agua para fundamentar la toma de decisiones.

Implementar un plan de manejo sobre las actividades antrópicas en la cuenca, considerando que su potencial modificación por deforestación, agricultura o urbanización pueden afectar también el espejo de agua de la ciénaga en términos de área superficial y profundidad.

- **Protección y conservación de la ronda hídrica de la ciénaga**

Mantener y fortalecer las medidas de protección y reforestación de la ronda hídrica de la ciénaga teniendo en cuenta Soluciones Basadas en la Naturaleza – SBN, con el fin de reducir el aporte de sedimento directo en las orillas, así como garantizar el seguimiento del espejo de agua a lo largo del tiempo. La definición de la ronda hídrica deberá responder a variables hidrológicas, geomorfológicas, hidráulicas, hidrobiológicas y socioeconómicas, entre otros factores.

- **Monitoreo hidrobiológico y de calidad del agua**

Se recomienda establecer un programa periódico de monitoreo hidrobiológico y de calidad del agua dirigido específicamente al seguimiento del comportamiento de la vegetación flotante, principalmente para la elodea y el buchón, para evaluar su extensión, densidad y ciclo de vida, dado su potencial efecto sobre los procesos de colmatación debido a la acumulación vegetal. Este monitoreo debe incluir campañas periódicas de muestreo, análisis de imágenes aéreas de alta resolución y estudios específicos sobre la influencia de esta vegetación en los procesos sedimentarios, especialmente en las bocas de los arroyos, donde puede obstruir parcialmente el flujo del agua y generar colmatación localizada.

- **Definir planes de manejo y acciones sobre la evolución de expansión de la vegetación acuática**
-

Se recomienda elaborar un estudio de las condiciones hidrobiológicas evolutivas de la Elodea y el Buchón en la ciénaga del Totumo y su efecto en la hidrodinámica y los procesos de colmatación. Los ciclos hidrobiológicos de este tipo de vegetación pueden alterar las condiciones del espejo de agua y requiere especial monitoreo y acciones. Los resultados del proyecto evidencian que, el sector sur ha sido altamente afectado por procesos de colmatación asociado a la combinación de la presencia de vegetación acuática masiva y aporte de sedimento, lo cual, con la presencia potencial de nutrientes en el agua, pueden generar un crecimiento acelerado de la vegetación y por ende una colmatación puntual acelerada.

Actualmente la elodea y el buchón son removidos a través de las compuertas direccionadas por las corrientes generadas por el flujo y el viento. Sin embargo, en indispensable contar con mecanismos que permitan facilitar la remoción y reducir la proliferación de estas plantas.

- **Realizar mediciones hidrográficas e hidrosedimentológicas periódicas**

Realizar monitoreos batimétricos e hidrosedimentológicos periódicos, cada 3 a 5 años, para analizar la evolución del lecho. De igual forma, se recomienda instalar por lo menos 3 sensores de nivel para monitoreo en tiempo real o casi-real en los siguientes sectores: el primero en la ciénaga la Redonda, el segundo en canal Amanzagüapos, el tercero en la zona sur de la ciénaga. Estos sensores

permitirían obtener información de la dinámica hídrica del cuerpo de agua en temporadas secas y húmedas, así como también para el control y manejo de las compuertas.

- **Desarrollar un protocolo de operación de compuertas para la ciénaga**

Actualmente, las compuertas no poseen un protocolo formalizado de operación, a pesar de constituir uno de los elementos más importantes en la regulación hídrica de este cuerpo de agua. Por lo tanto, es necesario generar un protocolo de operación compuertas que responda no solo a las condiciones hidrológicas hidráulicas del sistema, sino también a las condiciones de calidad e hidrobiológicas del sistema hídrico. Gestionar la operación de las compuertas es fundamental para mantener los ciclos de niveles de agua a lo largo del año, reducir efectos erosivos y conservar la funcionalidad hidráulica y ambiental del sistema. Como parte del protocolo se debe capacitar al personal local encargado de la operación, integrando criterios técnicos y sostenibles en sus tareas.

- **Seguimiento del uso del suelo y expansión urbana**

Implementar normativas para regular la ocupación y el uso del suelo en áreas especialmente sensibles a la generación de sedimentos, particularmente en la margen sur y suroeste de la ciénaga, donde se observan mayores transformaciones recientes.

Realizar un seguimiento continuo de los cuerpos de agua cercanos que funcionan como amortiguadores naturales de caudal y sedimentos, evitando su degradación o desaparición.

Monitorear sistemáticamente la evolución del espejo de agua en temporadas secas y húmedas mediante análisis multitemporales con imágenes satelitales, para mantener la estabilidad del sistema hídrico a largo plazo.

- **Educación ambiental y participación comunitaria**

Desarrollar campañas de educación ambiental dirigidas a las comunidades locales, destacando el manejo adecuado del suelo, la conservación de fuentes hídricas y la prevención de procesos de colmatación.

Incluir activamente a las comunidades en actividades relacionadas con el monitoreo y manejo del sistema, promoviendo la corresponsabilidad en la protección y uso sostenible de los recursos naturales de la ciénaga.

- **Evaluación de calidad del agua e integración con las comunidades**

La pesca la cual es una de las principales actividades económicas en la zona se ha visto afectada de manera importante por las afectaciones a la navegación, así como por las condiciones en las que viven las diferentes especies de peces. El presente estudio ofrece las bases para una evaluación en los parámetros físicos, químicos y biológicos que se encuentran en este cuerpo de agua. Problemas como zonas con condiciones anaerobias y eutrofización son críticos tanto para el ecosistema en sí mismo como para la interacción que tienen las comunidades aledañas para con la ciénaga. Es entonces recomendable que a futuro se considere una evaluación de calidad de aguas.

- **Creación de una red de ciudadanos observadores y difusión de la plataforma SIG de la Ciénaga del Totumo**

La plataforma SIG desarrollada para el presente proyecto es una herramienta útil y de fácil acceso para cualquier interesado en la información brindada para la ciénaga del Totumo. Además de las reuniones de socialización y capacitación con la comunidad en el presente proyecto, es recomendable que se le dé difusión a esta herramienta para que tenga un uso continuo y un flujo de información periódico por parte de la comunidad.

Crear una red de ciudadanos observadores para fortalecer y empoderar a la comunidad en torno al manejo de la ciénaga. Esta red de ciudadanos observadores le permitirá a la CRA y CARDIQUE contar con información pertinente.

11 Plataforma SIG para la Ciénaga del Totumo

La Plataforma de Información Geográfica de la Ciénaga del Totumo es una solución tecnológica diseñada para facilitar la gestión, consulta y acceso organizado a la información ambiental de la ciénaga del Totumo. Más que un visor de mapas, esta plataforma actúa como un repositorio digital interactivo que permite a autoridades, colaboradores, comunidades y aliados estratégicos compartir, centralizar y consultar datos clave sobre la dinámica de la ciénaga, respaldando decisiones responsables y sostenibles.

11.1 Propósito y alcance

El propósito principal de la plataforma es ofrecer un entorno robusto y flexible para almacenar, visualizar y organizar información geoespacial e histórica de la Ciénaga del Totumo.
Esta solución responde a la necesidad de disponer de un espacio digital que integre datos provenientes de la autoridad ambiental, la comunidad local y diversos colaboradores técnicos y académicos.

Su alcance abarca la consolidación de datos geoespaciales y registros históricos, la visualización interactiva de capas y mapas, la organización de archivos, estaciones y categorías, así como espacios de colaboración para aportar contenido por parte de la comunidad.

11.2 Principales funcionalidades

A través de una interfaz intuitiva, la plataforma permite explorar mapas interactivos con soporte para formatos ráster y vectoriales como TIFF, GeoJSON, MBTiles y Shapefiles. Además, admite archivos de estilo como QML y SLD.

La solución ofrece herramientas para gestionar capas y categorías, activarlas o combinarlas para diferentes análisis, organizar archivos y documentos complementarios, registrar estaciones y sus metadatos asociados, y facilitar la participación comunitaria mediante el aporte de información por medio de formularios asociados a una ubicación geográfica. Asimismo, la plataforma cuenta con un flujo de integración automatizado que permite transformar y publicar, de forma sencilla y rápida, la información generada en sistemas GIS externos directamente en la web. Esto se logra mediante un

pipeline de procesamiento que optimiza y organiza los datos para que queden disponibles para su consulta y visualización en línea sin pasos manuales intermedios. Estas funcionalidades garantizan que cualquier actor involucrado pueda consultar información confiable, actualizar datos y colaborar de forma ordenada.

11.3 Enfoque técnico y arquitectura

La plataforma se ha construido siguiendo principios de arquitectura moderna, pensada para garantizar su escalabilidad, seguridad y estabilidad a largo plazo. Entre sus bases técnicas destacan prácticas reconocidas como Domain-Driven Design (DDD) y Arquitectura Hexagonal, que favorecen una estructura bien organizada, modular y preparada para adaptarse a nuevas necesidades. Además, se aplican conceptos como Event Sourcing y CQRS, que permiten registrar cambios de forma controlada y optimizar las consultas de información.

A nivel tecnológico, la solución emplea un conjunto de herramientas actualizadas y confiables: una interfaz web desarrollada con Angular 18+, que combina Nebular y Bootstrap CSS para ofrecer una experiencia clara y amigable; mapas interactivos basados en MapLibre, una tecnología abierta y flexible; y un núcleo de procesamiento construido con Laravel y MongoDB, que garantizan agilidad y seguridad en la gestión de datos. El entorno está implementado sobre contenedores Docker, con balanceo de carga mediante Traefik y monitoreo integral a través de sistemas como Grafana, Redis y Prometheus, asegurando que la plataforma se mantenga estable y supervisada.

11.4 Requisitos de operación

Para su funcionamiento, la plataforma requiere un servidor web con base de datos y certificados de seguridad actualizados, así como un dominio confiable para su acceso.
El sistema está optimizado para operar en cualquier infraestructura moderna que permita contenedores y balanceo de carga, garantizando acceso estable y seguro para múltiples usuarios de forma simultánea.
Para los usuarios finales no se requiere ninguna instalación local: basta con disponer de una conexión a Internet estable y un navegador web actualizado para acceder a toda la información y funcionalidades que la plataforma ofrece.

11.5 Manual de usuario general

La Plataforma Ciénaga del Totumo CRA (Figura 152) pone a disposición de la comunidad una herramienta fácil de usar para consultar mapas interactivos, información ambiental y contenidos multimedia relacionados con la zona de influencia de la ciénaga. Este manual tiene como propósito guiar a cualquier persona en el uso de las funciones principales de la plataforma, asegurando una experiencia clara, sencilla y accesible para todos.

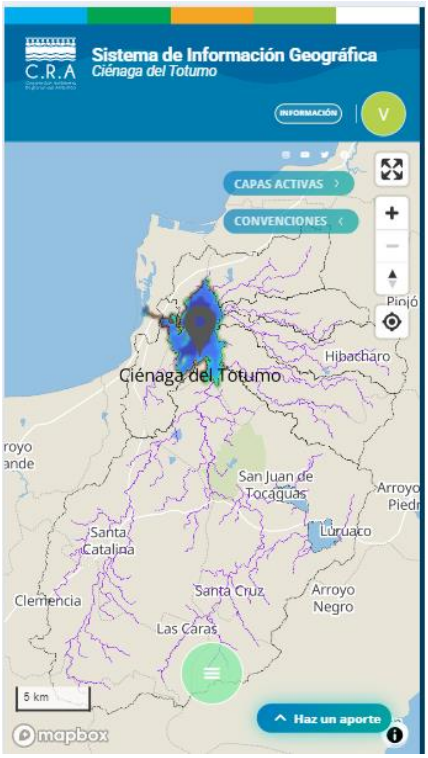


Figura 152. Plataforma SIG - Ciénaga del Totumo.

11.5.1 Requisitos para el Usuario

La plataforma funciona correctamente en computadores, tabletas y teléfonos móviles, lo que permite acceder a mapas, documentos e imágenes desde cualquier lugar y en cualquier momento. Para una mejor experiencia, se recomienda utilizar un navegador web actualizado y contar con una conexión a internet estable para visualizar la información sin interrupciones.

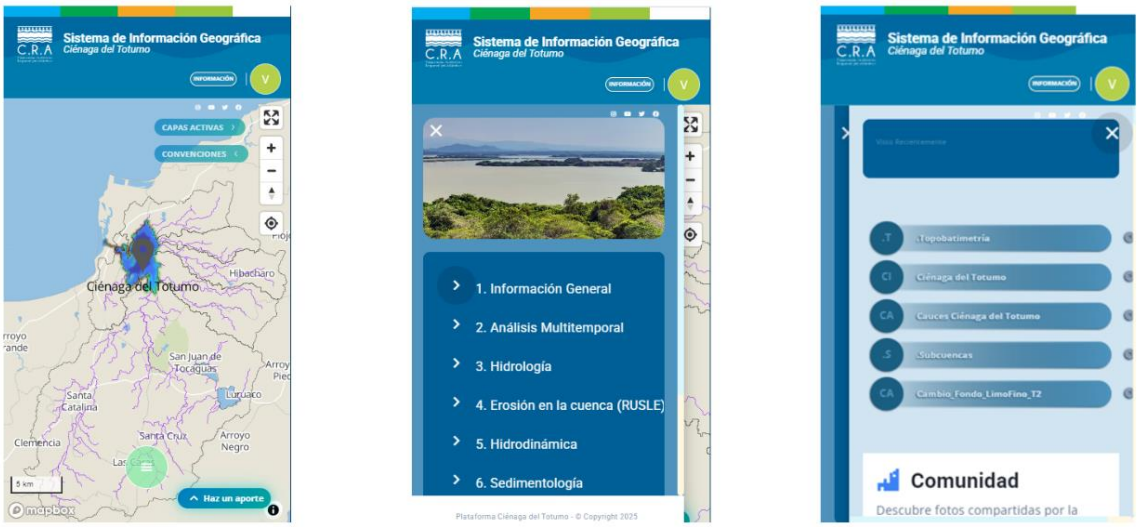
11.5.2 Acceso a la Plataforma

Para ingresar, solo es necesario visitar la dirección web oficial que la Corporación Autónoma Regional (CRA) pone a disposición del público. La mayoría de los contenidos, como mapas, capas de información y archivos multimedia, se pueden explorar sin necesidad de registrarse, lo que facilita la consulta abierta y la participación comunitaria.

Si desea compartir fotografías, sugerencias o información relacionada con la Ciénaga del Totumo, puede registrarse creando un nombre de usuario y una contraseña. Los aportes enviados serán revisados por el equipo de la plataforma para garantizar la calidad y pertinencia del contenido.

11.5.3 Elementos Principales de Navegación

Al ingresar a la plataforma (Figura 153), se muestra un visor de mapas como elemento principal, en el cual se puede explorar el área moviendo el mapa con el clic del ratón o deslizando con los dedos desde un dispositivo móvil o tableta.



1. Visor

2. Categorías y Capas

3. Capas recientes, activas y Comunidad

Figura 153. Elementos Principales de Navegación.

11.5.4 Cómo Usar la Plataforma

Para explorar los mapas, basta con seleccionar la categoría de interés en el panel izquierdo y activar o desactivar las capas que se desee consultar. El visor se actualiza automáticamente para mostrar la información seleccionada. Al hacer clic sobre puntos o áreas del mapa, se despliega información adicional, descripciones, imágenes o documentos que enriquecen la consulta.

A continuación, encontrará una guía práctica para realizar estos pasos de forma sencilla.

Panel de categorías y capas

1. Haga clic en el botón central “Ver Capas” para acceder a las diferentes capas disponibles en la plataforma.



Figura 154. Botón ver Capas.

2. En el lado izquierdo se abrirá un panel con temáticas o categorías que organizan la información ambiental por temas.
3. Seleccione la categoría de su interés y haga clic sobre la capa que desea visualizar. La capa se mostrará automáticamente en el visor de mapas (Figura 155).

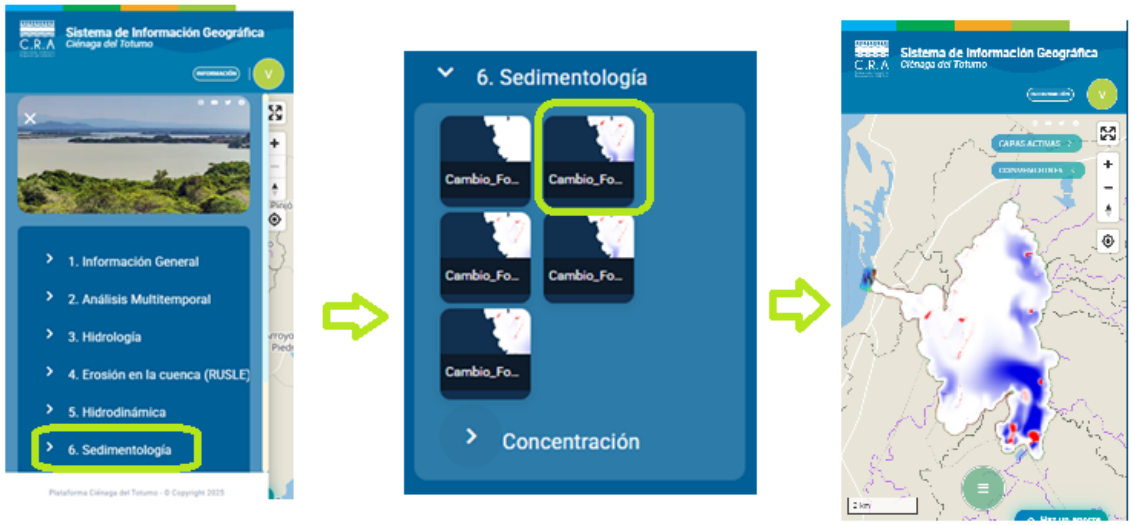


Figura 155. Activación de una capa.

Panel de capas recientes activas y comunidad

A la derecha se encuentra el panel de Capas Activas y Capas Recientes (Figura 156), donde se pueden encender o apagar las capas según el interés de cada persona, ajustando la visualización de los datos. Además, desde este panel también se puede acceder a los contenidos multimedia compartidos por la comunidad.

Para acceder al panel de capas activas de clic en el botón “Capas Activas”:

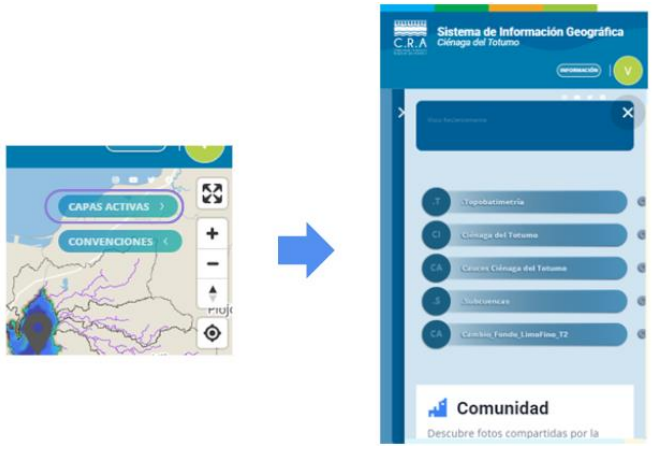


Figura 156. Panel Derecho, capas activas, recientes y comunidad.

1. **Capas recientes:** aquí puedes observar las distintas capas que has navegado, incluso si ya las desactivaste, para facilitar su búsqueda posterior.

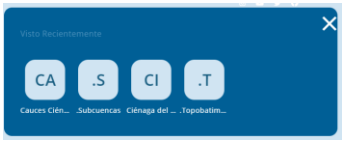


Figura 157. Capas recientes.

2. **Capas activas:** Aquí puedes ver más información de la capa , o desactivarla



Figura 158. Listado de capas activas.

3. **Comunidad:** Aquí puedes observar, compartir o indicar que te gusta una imagen.



Figura 159. Multimedia y comunidad.

Cómo Cargar Archivos y Dejar Comentarios

La plataforma invita a toda la comunidad a contribuir con documentos, fotografías o videos relacionados con la Ciénaga del Totumo. Para hacerlo, solo hay que ubicar el botón “Haz tu aporte”, elegir la ubicación correspondiente en el mapa, seleccionar el archivo desde el dispositivo y completar la información solicitada.

En este espacio también se pueden dejar comentarios y observaciones en los apartados habilitados, fomentando el intercambio de ideas y la construcción colectiva de conocimiento. Todos los aportes son revisados por el equipo de la plataforma antes de su publicación para garantizar su pertinencia y calidad.

A continuación, encontrará una guía práctica para registrarse y realizar sus aportes de forma sencilla:

Registro de usuario e ingreso

1. **Registrarse**: En la parte superior de la plataforma encontrará un menú principal donde podrá hacer clic en la opción “Registrarse” para crear su cuenta.



Figura 160. Menú Principal.

2. **Ingresar datos:** Escriba un correo electrónico válido y una contraseña para completar el formulario de registro

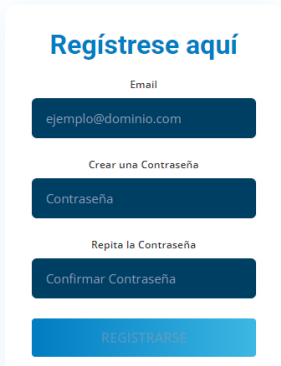


Figura 161. Registro de usuarios.

3. **Verificar correo**: Recibirá un correo de confirmación; haga clic en el enlace para verificar su dirección de correo y activar su cuenta.



Figura 162. Correo de activación de usuario

4. Ingreso a la plataforma: Ahora puedes acceder a la plataforma con tu nombre de usuario y contraseña:

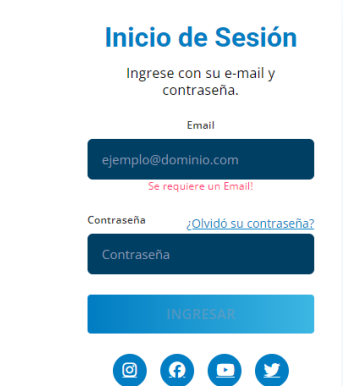


Figura 163. Panel de Inicio de sesión.

Haz tu aporte

Una vez que hayas ingresado con tu usuario y contraseña, podrás compartir tus aportes de manera sencilla siguiendo estos pasos:

1. **Haz clic en "Haz tu aporte":** Ubica y selecciona el botón "Haz tu aporte" (Figura 164) en la plataforma.

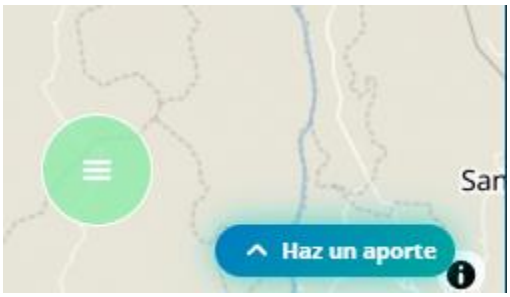


Figura 164. Botón haz un aporte.

2. **Elige una ubicación**: Selecciona el lugar en el mapa y confirma el punto que marcaste (Figura 165).

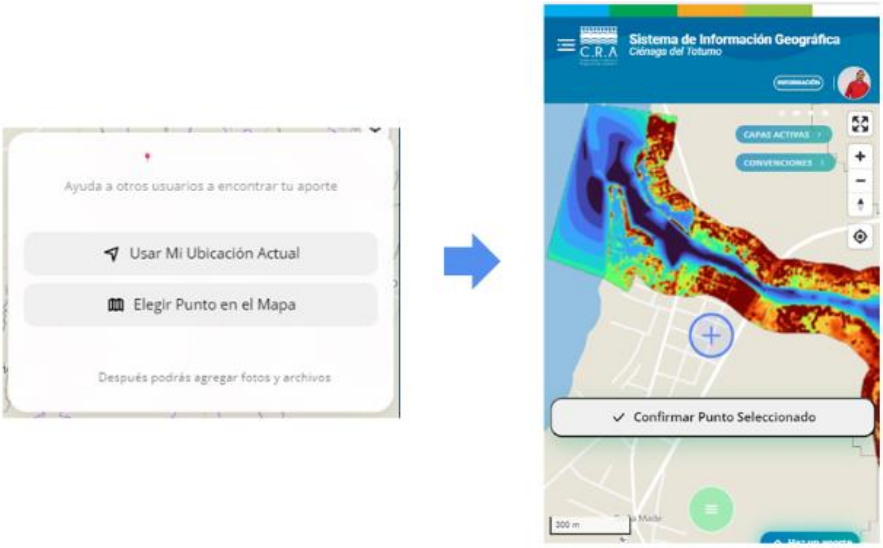


Figura 165. Selección de ubicación del aporte.

3. **Completa el formulario:** Llena el formulario con la información de tu aporte (Figura 166). Incluye tu nombre, una breve descripción y adjunta el contenido multimedia (imágenes, documentos o videos) que desees compartir.

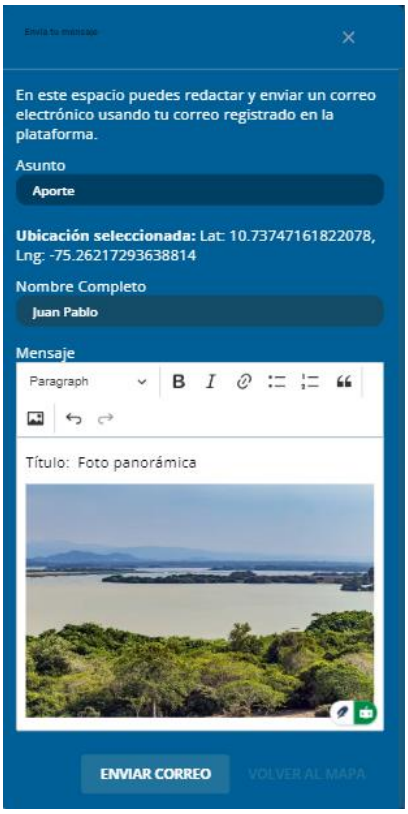


Figura 166. Formulario de aportes.

11.5.5 Preguntas Frecuentes (FAQ)

En caso de dudas comunes, el usuario puede consultar la sección de preguntas frecuentes donde se abordan inquietudes sobre el uso de la plataforma, recuperación de contraseñas, carga de archivos y contacto con soporte técnico.

¿Necesito registrarme para usar la plataforma? No. Puedes consultar mapas, capas de información y contenidos públicos sin necesidad de registrarte. Solo necesitas crear una cuenta si deseas compartir aportes.

¿Puedo acceder desde mi celular? Sí. La plataforma está diseñada para funcionar tanto en computadores como en tabletas y teléfonos móviles.

¿Cómo puedo subir mis fotos o documentos? Primero debes registrarte y verificar tu correo electrónico. Luego, haz clic en **"Haz tu aporte"**, selecciona una ubicación en el mapa y completa el formulario con la información y archivos que deseas compartir.

¿Qué pasa con mis aportes después de enviarlos? Todos los aportes pasan por una revisión para garantizar su calidad y pertinencia. Una vez aprobados, se publican en la plataforma para que toda la comunidad pueda verlos.

¿Qué tipo de archivos puedo subir? Puedes compartir imágenes, documentos o videos que estén relacionados con la Ciénaga del Totumo y su entorno.

¿Qué hago si tengo problemas para ingresar? Si tienes dificultades para acceder o registrar tu cuenta, revisa tu conexión a internet y verifica que estés usando un navegador actualizado. Si el problema persiste, contacta al equipo de soporte de la plataforma.

11.5.6 Soporte y Canales de Atención

Si el usuario encuentra inconvenientes técnicos o desea plantear sugerencias, puede contactar al equipo de soporte de la CRA mediante los correos y canales oficiales indicados en la plataforma. Se recomienda incluir capturas de pantalla o descripciones claras para agilizar la atención.

El horario de atención y respuesta se define según la disponibilidad del equipo técnico y se comunica oportunamente a la comunidad.

11.5.7 Glosario y Recursos Adicionales

📌 **Capa:** Conjunto de información geográfica que se puede activar o desactivar en el mapa (por ejemplo, límites de la ciénaga, áreas protegidas o puntos de interés).

📌 **Visor de mapas:** Herramienta principal de la plataforma que permite ver, mover y explorar los mapas interactivos.

📌 **Categoría:** Grupo de capas relacionadas por un mismo tema

📌 **Aporte:** Información, archivo o comentario que cualquier usuario registrado puede compartir para enriquecer el conocimiento de la ciénaga.

📌 **Panel de Capas Activas:** Espacio donde se muestran las capas seleccionadas que están visibles en el mapa.

📌 **Comunidad:** Sección de la plataforma donde se pueden ver contenidos aportados por otros usuarios o la C.R.A.

12 Socialización de resultados y capacitación de la Plataforma SIG de la Ciénaga del Totumo

La Corporación Autónoma Regional del Atlántico – C.R.A., en el marco de las acciones orientadas a la recuperación ambiental de cuerpos de agua asociados a la cuenca de los arroyos que desembocan en el mar Caribe, convocó a actores clave del territorio a un espacio de socialización de los resultados del Estudio Hidrosedimentológico en la Ciénaga del Totumo.

Este evento tuvo como propósito presentar los principales hallazgos del estudio, fomentar el diálogo con las comunidades y actores institucionales, y dar a conocer y capacitar sobre la Plataforma SIG para la Ciénaga del Totumo, la cual es una herramienta informática desarrollada para la gestión ambiental basada en la información técnica recolectada.

12.1 Lugar, fecha y hora de la socialización y capacitación

La reunión fue convocada y realizada el jueves 10 de julio de 2025 desde las 9:00 am a 11:00 am en la Sede de la Sociedad de Ingenieros del Atlántico, Carrera 59 #72-29, Barranquilla-Colombia.

12.2 Participantes

La reunión contó con la participación de distintos actores representativos del territorio y del equipo técnico encargado del estudio, entre ellos:

- 8 pescadores pertenecientes a la Federación de Pescadores y Agricultores Afrodescendientes de Loma Arena.
- 1 funcionario de la Secretaría de Desarrollo Económico de la Gobernación del Atlántico.
- Equipo técnico del consorcio SISCO-HYCEN, entidad responsable del desarrollo del estudio.
- Funcionarios de la Subdirección de Cambio Climático y Gestión del Riesgo de la C.R.A.

12.3 Desarrollo de la jornada de socialización y capacitación

La jornada inició con las palabras de bienvenida por parte de un delegado de la C.R.A., quien destacó la importancia de este tipo de espacios participativos y el valor estratégico del estudio para la gestión ambiental de la Ciénaga del Totumo.

A continuación, el equipo técnico del consorcio SISCO-HYCE presentó los resultados más relevantes del estudio, entre los que se incluyenron:

- Mediciones de campo realizadas
- El comportamiento hidrológico, hidráulico y sedimentológico actual de la ciénaga.
- Las zonas más afectadas por procesos de sedimentación.
- Análisis de dinámicas hídricas que afectan la conectividad del sistema.
- Condiciones de la vegetación acuática en el sistema hídrico
- Recomendaciones para la intervención, conservación y manejo integral del cuerpo de agua.
- Conclusiones del estudio

Posteriormente, se realizó la presentación oficial y capacitación de la plataforma tecnológica desarrollada en el marco del proyecto, la cual consolida la información recolectada durante las distintas fases del estudio. Esta herramienta permitirá a tomadores de decisión, investigadores y comunidad acceder de manera ágil y organizada a datos técnicos actualizados que respaldan la formulación de estrategias ambientales.

Previo al evento, desde el área de comunicaciones se adelantó una planificación detallada y un acompañamiento integral a todas las fases de organización, logística y comunicación, entre las que se destacan:

- Coordinación con los líderes comunitarios para garantizar su participación en el evento.
- Entrega de invitaciones y concertación de asistencia a los asistentes.
- Gestión de cotizaciones y definición de proveedores para el desarrollo del evento (transporte, refrigerios, locación).

- Inspección técnica a la sede del evento para verificación de condiciones logísticas y técnicas.
- Coordinación final con el equipo técnico del estudio para el orden del día y presentación.
- Confirmación de asistencia con participantes y proveedores el día anterior al evento.
- Publicación en redes sociales de la C.R.A. con información del evento con fotografías e información clave y aspectos destacados de la jornada.

12.4 Conclusiones de la jornada de socialización y capacitación

- Los participantes valoraron positivamente el espacio de diálogo y la claridad de los hallazgos expuestos.
- La herramienta informática fue reconocida como un instrumento útil para el seguimiento ambiental de la Ciénaga.
- Se reiteró la importancia de continuar articulando esfuerzos institucionales y comunitarios para garantizar la sostenibilidad del cuerpo de agua.
- La CRA reafirmó su compromiso de acompañar técnica y estratégicamente los procesos de restauración ambiental en el territorio.

12.5 Lista de asistencia

C.R.A Corporación Autónoma Regional del Atlántico

FORMATO

LISTA DE ASISTENCIA

Código EA-FT-03 | Versión: 4 | Fecha: 23/08/2021

SGI

Fecha:	Día: 10 Mes: 07 Año: 24
Hora:	Inicio: 9:05 Fin: 12:05
Actividad:	Socialización resultados Estudio Hidrosedimentológico de la Ciénaga del Totumo
Dirigido a:	Consejo de Santa Catalina, entidades
Lugar:	Sede Sociedad de Ingenieros del Atlántico
Responsable(s):	

No	Nombre y Apellido	Documento de Identidad	Sexo F	Sexo M	Edad	Población	Cargo que desempeña	Dependencia – Entidad que pertenece	Teléfono – Correo electrónico	Municipio	Firma
1	Roberto Cortina	73073507		X	70	Pescador	Socio	Fapesaal	robertocortina Hernandez@	Santa	
2	Adanier Jimenez	73595301		X	45	Pescador	Presidente	Fepesaal	gmail.com Seinadavigo@gmail	Catalina Santa C	
3	Alejandro Vasq	1051872493		X	28	Alcaldía	coordinador	Alcaldía Santa Catalina	alvasq2025@ gmail.com	Santa Cat	
4	Dalis Jimenez	23114711	X		42	Comunidad	Secretaria	FEPES221	dalysjimenez gracias@gmail.com	Santa Catalina	
5	Javier Robles R.	72.135.758		X		Gobierno	Asesor	Gobernación Sec. Desarrollo	3222845820 fjroblesroy@yahoo.com	Holla	
6	Juan Tello Plata	1102774677		X	27	Ingeniero	Empleado	SISCO	3142737276 inge;ftello@gmail.com	Baquilla	
7	Gueder Perez Rom	3729873		X	49	pescador	Socio	FePesaal	3045968504	Sta Catalina	
8	Stefany Anaya	1143962032	X		27	Ing.	Gerente	HYCEN SAS	hycengroup@outlook.com	Atlantico	
9	Maria Santos	32780460	X		49	Sisco	Social Gerente	SISCO Ingeniera	3135749[illegible] mariasantocaiba@hotmail.com	Bq	
10	Yamil Loramillo Polo	8.976.797		X	63	pescador	VICEPRESIDENTE	Fepesaal	3044678993 [illegible]@gmail.com	Sta Catalina	

Nota: Escriba en la columna población el número que representa el grupo al cual pertenece:1. Negros, 2. Afrocolombianos, 3. Raizales, 4. Palenqueros, 5. Indígena, 6. Rrom, 7. Discapacidad, 8. Extranjero, 9. Otro (Cuál)

Figura 167. Listado de asistencia a la socialización – página 1.

C.R.A Corporación Autónoma Regional del Atlántico

FORMATO

LISTA DE ASISTENCIA

Código EA-FT-03 | Versión: 4 | Fecha: 23/08/2021

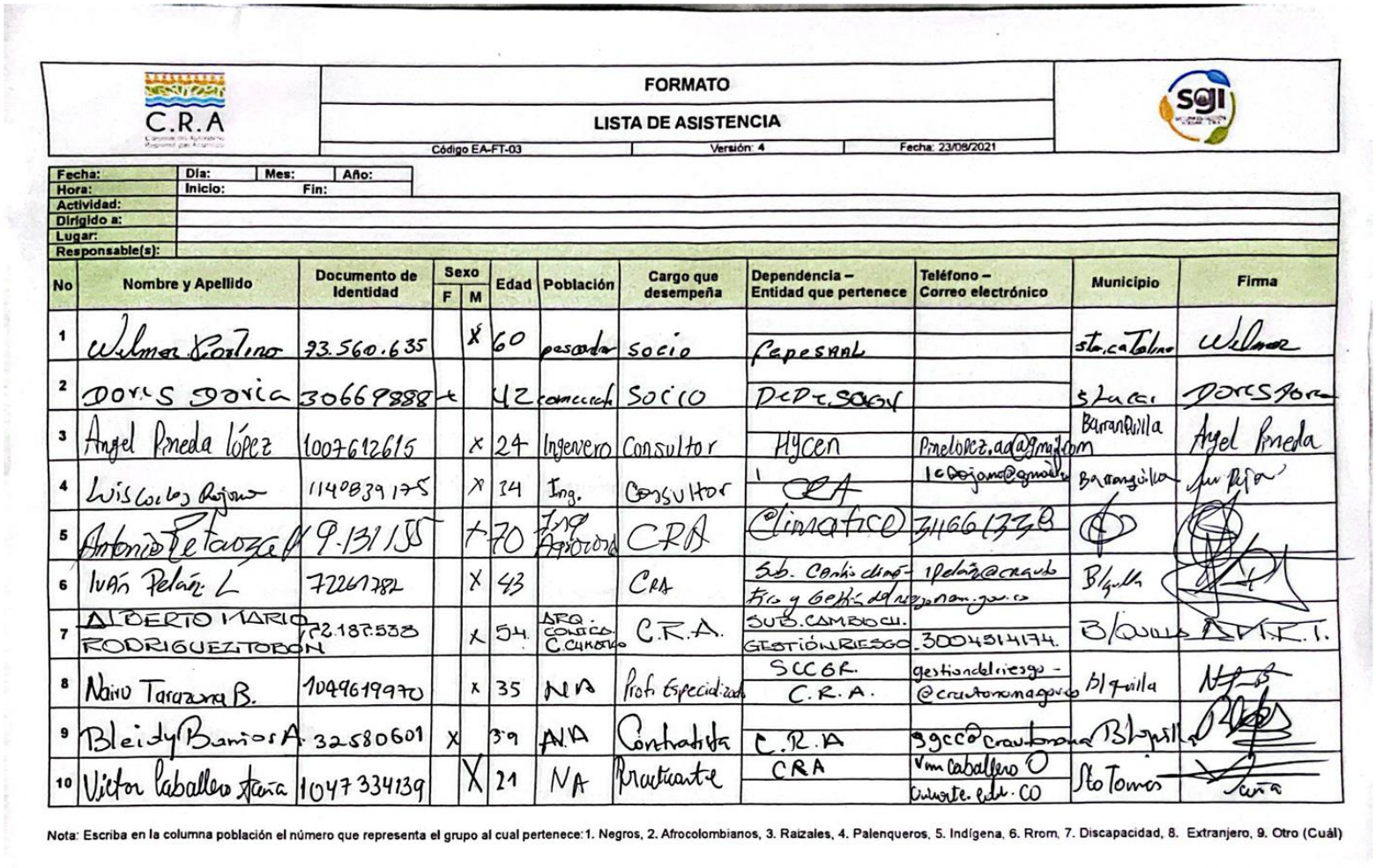
SGI

Fecha:	Día:	Mes:	Año:
Hora:	Inicio:	Fin:	
Actividad:			
Dirigido a:			
Lugar:			
Responsable(s):			

No	Nombre y Apellido	Documento de Identidad	Sexo F	Sexo M	Edad	Población	Cargo que desempeña	Dependencia – Entidad que pertenece	Teléfono – Correo electrónico	Municipio	Firma
1	Pedro Mancera Q.	72285270		X	41	NA	Contratista	CRA Sec. Cambio climatico	3017116722 pmanceraquerdo@gmail.com	B/quilla	Pedro Mancera Q.
2	Sebastian Andres Navarro Salcedo	1234093143		X	26	NA	Contratista	CRA Sec. Cambio Climatico	3006460688 sebanavarro714@gmail.com	B/quilla	S
3	Yury Calderon	1070378865	X		27	N/A.	Contratista	CRA. S.C.C.G.R.	3233962242 calderonyuryeduardo@gmail.com	B/quilla	Yury
4	Ignacio De la Hoz	5'745.296		X	60	N/A	Contratista	Sub Cambio Climatico CRA.	3008020334 idelahoz@crautonoma.gov.co	B/quilla	
5	Oscar Melendrez	1067911533		X	33	N/A	Contratista	CRA sub. Cambio Cl.	3046539515 oimvz2@gmail.	B/quilla	Oscar Alan
6	Marcela Arboleda	1140820461	X		36	NA	Contratista	CRA	3046538515 marbdada@crautonoma	Bquilla	Marcela A.
7											
8											
9											
10											

Nota: Escriba en la columna población el número que representa el grupo al cual pertenece: 1. Negros, 2. Afrocolombianos, 3. Raizales, 4. Palenqueros, 5. Indígena, 6. Rrom, 7. Discapacidad, 8. Extranjero, 9. Otro (Cuál)

Figura 168. Listado de asistencia a la socialización – página 2.



C.R.A

FORMATO

LISTA DE ASISTENCIA

Código EA-FT-03 | Versión: 4 | Fecha: 23/08/2021

Fecha:	Día: Mes: Año:
Hora:	Inicio: Fin:
Actividad:	
Dirigido a:	
Lugar:	
Responsable(s):	

No	Nombre y Apellido	Documento de Identidad	Sexo F	Sexo M	Edad	Población	Cargo que desempeña	Dependencia – Entidad que pertenece	Teléfono – Correo electrónico	Municipio	Firma
1	Wilmer Bonilla	93.560.635		X	60	pescador	socio	Pespesnal		sto. caTomo	Wilmer
2	DORIS SORIA	30669888	X		42	comercio	SOCIO	DEPT. SOCIAL		Stucci	DORIS SORIA
3	Angel Pineda López	1007612615		X	24	Ingeniero	Consultor	Hycen	Pinelopez.ad@gmail.com	Barranquilla	Angel Pineda
4	Luis Carlos Rojano	1140839175		X	34	Ing.	Consultor	CRA	lcarojano@gmail.com	Barranquilla	Luis Rojano
5	Antonio Petro Zea	9.131.155		X	70	Ing. Agrónomo	CRA	Climatico	3146617268		
6	Iván Peláez L	72261782		X	43		CRA	Sub. Cambio climático y Gestión del riesgo	ipelaez@cra.gov.co	B/quilla	
7	ALBERTO MARIO RODRIGUEZ TORDON	72.187.533		X	54	ARQ. COSTERO C. CIENAGA	C.R.A.	SUB. CAMBIO CLI. GESTIÓN RIESGO	3004514174	B/QUILLA	S.M.R.T.
8	Nairu Tarazona B.	1049619970		X	35	N/A	Prof. Especializado	SCCGR. C.R.A.	gestiondelriesgo - @crautonomaregional	B/quilla	
9	Bleidy Barrios A.	32580601	X		39	N/A	Contratista	C.R.A	sgcc@crautonoma	B/quilla	
10	Victor Caballero Ataña	1047334139		X	21	NA	Practicante	CRA	Vmcaballero@cuente.edu.co	Sto Tomas	

Nota: Escriba en la columna población el número que representa el grupo al cual pertenece: 1. Negros, 2. Afrocolombianos, 3. Raizales, 4. Palenqueros, 5. Indígena, 6. Rrom, 7. Discapacidad, 8. Extranjero, 9. Otro (Cuál)

Figura 169. Listado de asistencia a la socialización – página 3.

12.6 Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación



Figura 170. Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación – No. 1



Figura 171. Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación – No. 2



Figura 172. Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación – No. 3



Figura 173. Registro fotográfico de la jornada de socialización y capacitación – No. 4

13 Conclusiones

El presente estudio hidrosedimentológico de la Ciénaga Totumo permitió definir las siguientes conclusiones:

El espejo de agua principal tiene una extensión de más de 1300Ha, sus orillas cubren un perímetro de 37.7km, la profundidad promedio en la ciénaga es de 1.42m y cuenta con profundidades máximas de hasta 2.5m en el espejo de agua principal en la parte central al noreste de la isla “los cocos” y de hasta 4.5m en el caño Amanzaguapos que es la única conexión con el mar caribe. Las compuertas ubicadas en el caño Amanzagüapos separan el agua dulce de la ciénaga del agua salada del mar caribe. No hay influencia de la marea dentro de la ciénaga del Totumo debido a las compuertas, los niveles de agua registrados por el sensor instalado en la ciénaga van desde los 0.18 msnm hasta 0.44 msnm y el sensor instalado más cercano a la costa después de las compuertas registró la variación de marea alrededor de los 0 msnm con amplitud de 0.4m. La concentración de sólidos suspendidos en la ciénaga se distribuye en valores desde los 6 mg/L hasta los 42 mg/L indicando aguas sin apenas turbiedad, en el lecho de la ciénaga del Totumo los materiales encontrados fueron principalmente arcillas de baja plasticidad de color grisáceo con alto contenido de materia orgánico, las ubicaciones con material granular fueron las salidas de los arroyos, el caño Amanzaguapos y la zona exterior en la laguna costera “La Redonda”. El material predominante en los suelos de la cuenca son arcillas de acuerdo con los apiques hasta 50cm.

El área total de la cuenca de la Ciénaga del Totumo es de 494 km², comprendiendo un sistema de drenaje complejo donde los principales arroyos considerados fueron Ronco, Roberto, Calabrisa, Sabana, Maravillas y Caño Late. Se evaluaron múltiples escenarios hidrológicos mediante simulaciones que variaron tanto la distribución espacial de la precipitación como los períodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años), lo que permitió analizar diferentes respuestas del sistema ante eventos de lluvia de distinta magnitud e intensidad. La precipitación media anual en la cuenca varía entre 833,4 mm y 1170,1 mm, presentando mínimos en febrero y máximos en octubre. Los números de curva (CN) calibrados en las subcuencas oscilan entre 72,6 y 78,9. Las simulaciones del modelo hidrológico arrojaron caudales pico que varían desde 30 m³/s en el arroyo Caño Late (mínimo registrado para T=2 años) hasta 712 m³/s en el arroyo Ronco (máximo para T=100 años).

Las ciénagas de Luruaco y Tocagua, que hacen parte del sistema hídrico de la cuenca del Totumo, regulan las condiciones de descarga desde la zona sur de la cuenca. Sus aportes de agua están condicionados al alcance de niveles máximos o de desbordamiento controlado hacia canales de conexión entre la ciénaga de Luruaco a la ciénaga de Tocagua, y ésta última hacia la descarga de arroyos naturales que se dirigen hacia la ciénaga del Totumo.

Las compuertas existentes en el canal Amanzaguapos son fundamentales para la modulación del flujo superficial y el almacenamiento temporal del agua. Esta dinámica fue observada mediante el modelo hidrológico continuo, ejecutado durante un período de cinco años, el cual mostró una relación directa entre los niveles de la ciénaga y los eventos de lluvia intensa, particularmente en los años 2010 y 2011. Los resultados reflejan los ciclos estacionales de llenado y vaciado del sistema, así como su alta sensibilidad a la variabilidad climática interanual, sin que se llegara a registrar un secamiento total del cuerpo de agua.

La velocidad de las corrientes en la ciénaga generadas por descargas de los arroyos y el viento oscilan entre 0 y 50 cm/s, con velocidades predominantes del orden de 2 cm/s en el cuerpo principal de la ciénaga. El viento tiene mayor efecto de deriva sobre las orillas en la zona nor-occidental de la ciénaga, mientras que las descargas de los arroyos constituyen el mayor forzador hidrodinámico con capacidad para distribuir y dispersar el sedimento en gran parte del espejo de agua.

El análisis de sensibilidad realizado con distintos escenarios de descarga evidenció que las configuraciones espaciales de la precipitación afectan directamente la hidrodinámica de la ciénaga. En particular, las lluvias concentradas en la zona media de la cuenca generan flujos más integrales y homogéneos desde múltiples tributarios, mientras que la concentración en la zona norte resulta en menores aportes hídricos, debido a la escasa área de esas subcuencas con los arroyos modelados. Asimismo, los eventos extremos de mayor retorno intensifican las velocidades especialmente en las bocas de los arroyos y el canal de salida, mientras que el interior de la ciénaga mantiene regímenes lentos que favorecen la sedimentación de materiales finos. Esta dinámica confirma el papel de la ciénaga como regulador natural del flujo, y resalta la importancia de incluir múltiples configuraciones hidrológicas para una representación fiel del sistema y su comportamiento frente a distintos eventos hidrometeorológicos.

De acuerdo con las estimaciones realizadas con el método de RUSLE, la erosión potencial en toda la cuenca es de 204,856 Ton/Año, de lo cual cerca del 1.7%, es decir, 3,488 Ton/año llegan

potencialmente a la ciénaga. El material erosionado y presente en la ciénaga son principalmente limos, arcillas y arenas finas. Las arenas se acumulan principalmente cerca de las descargas de los arroyos, mientras que el material más fino se dispersa en la ciénaga en función de las corrientes generadas por las descargas y el viento.

Para un análisis prospectivo de 46 años, basado en registros históricos, el promedio de sedimentación en toda la ciénaga está entre 2 mm y 11 mm, para densidades entre 2.68 g/cm3 (sólido) y 0.5 g/cm3 (bulk), respectivamente. Sin embargo, zonas específicas pueden tener una sedimentación de entre 50 mm y 250 mm, como ocurre en la zona sur de la ciénaga. Estas tasas pueden ser inclusive mayores si se tiene en cuenta el proceso cíclico y evolutivo de la vegetación acuática en la ciénaga que aporte una cantidad significativa de materia orgánica.

El espejo de agua principal de la ciénaga del Totumo se ha mantenido relativamente estable en magnitud del área; sin embargo, la zona sur ha tenido cambios morfológicos significativos de ganancia y pérdida del espejo. Gran parte de estos cambios se atribuye a la colmatación por la combinación de sedimento y vegetación acuática.

Se desarrolló la Plataforma SIG para la Ciénaga del Totumo con el fin de que la información, los análisis y resultados de este estudio estén al alcance de toda la comunidad para consulta y referencia. Los usuarios podrán contribuir de manera activa con información, fotografías, sugerencias y reportar condiciones de la ciénaga a la Corporación Autónoma del Atlántico - CRA.

14 Referencias

Ávila, B., & Ávila H. (2015). Spatial and temporal estimation of the erosivity factor r based on daily rainfall data for the department of Atlántico, Colombia. Ingeniería e Investigación, 35(2), 23-29. DOI: http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v35n2.47773

Cao, Z., Zhang, Y., Wolfram, P. J., Brus, S. R., Rowland, J. C., Xu, C., ... & Petersen, M. R. (2021). Effects of different vegetation drag parameterizations on the tidal propagation in coastal marshlands. *Journal of Hydrology*, *603*, 126775.

Chow, Ven Te. (1994). Hidrología aplicada. s.l.: McGraw-Hill, 1994.

Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM 2018. Mapa de Cobertura de la Tierra. Adaptación Corine Land Cover. República de Colombia. Escala 1:100.000. Periodo 2018.

Lense, G. H. E., Lämmle, L., Ayer, J. E. B., Lama, G. F. C., Rubira, F. G., & Mincato, R. L. (2023). Modeling of soil loss by water erosion and its impacts on the cantareira system, Brazil. *Water*, *15*(8), 1490.

Pinzón, V. (2021). Interpretación de la dinámica de la vegetación durante la época seca en la ciénaga del Totumo (Piojó, Atlántico), a partir del cálculo del índice de vegetación normalizada (NDVI) y análisis multitemporal a imágenes Landsat 8 de los años 2014 a 2020. Bol. Cient. CIOH; 40(2): 47-63. ISSN impreso 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI 10.26640/22159045.2021.556

Remund, D., Liebisch, F., Liniger, H. P., Heinimann, A., & Prasuhn, V. (2021). The origin of sediment and particulate phosphorus inputs into water bodies in the Swiss Midlands–A twenty-year field study of soil erosion. *Catena*, *203*, 105290.

Renard, K.G. et al. (1997). PREDICTING SOIL EROSION BY WATER: A GUIDE TO CONSERVATION PLANNING WITH THE REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (RUSLE). U.S. Dep. Agrie, Agrie. Handb. No. 703.

Soil Conservation Service SCS. (1975). National Engineering Handbook. Washington D.C : s.n., 1975.

Tao, J., Hu, P., Xie, J., Ji, A., & Li, W. (2024). Application of the tidally averaged equilibrium cohesive sediment concentration for determination of physical parameters in the erosion-deposition fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *300*, 108721.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO – CRA. DEFINICIÓN DE LA RONDA HÍDRICA DE LAS CIÉNAGAS DE LURUACO Y SAN JUAN DE TOCAGUA EN EL MUNICIPIO DE LURUACO, DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

Vanoni, V. A. (Ed.). (2006, March). Sedimentation engineering. American Society of Civil Engineers.

Wischmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Dep. Agrie, Agrie. Handb. No. 537.

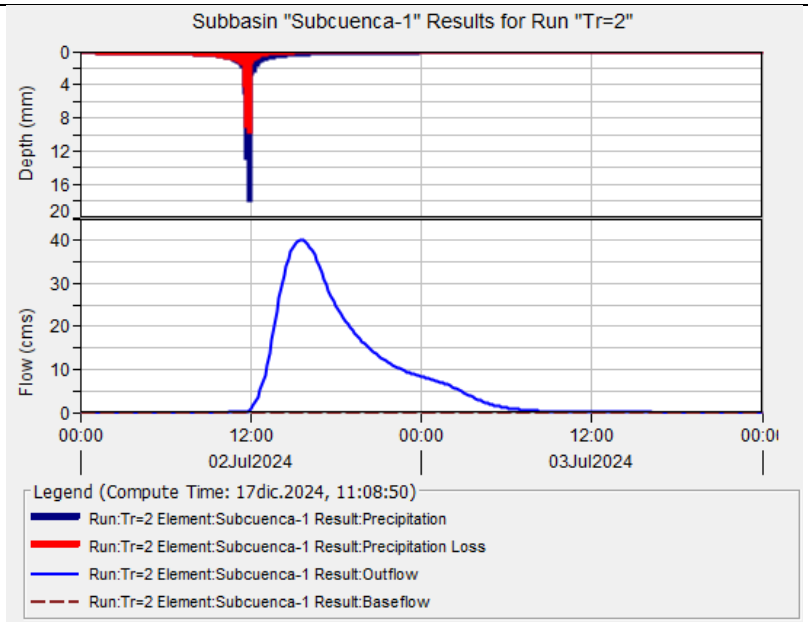
Wu, W., S. S. Y. Wang, and Y. Jia. 2000. Non-uniform sediment transport in alluvial rivers. Journal of Hydraulic Research, IAHR 38(6): 427434.

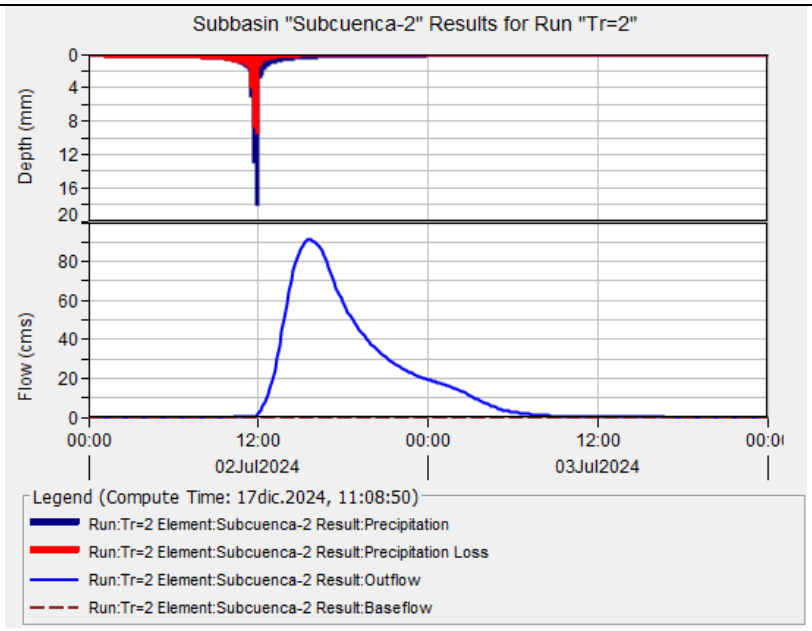
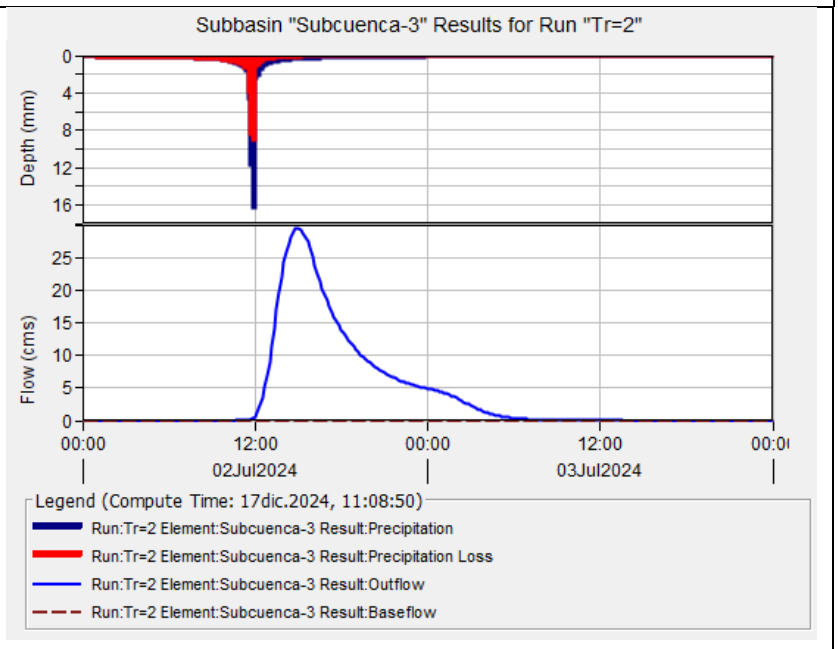
15 Anexos

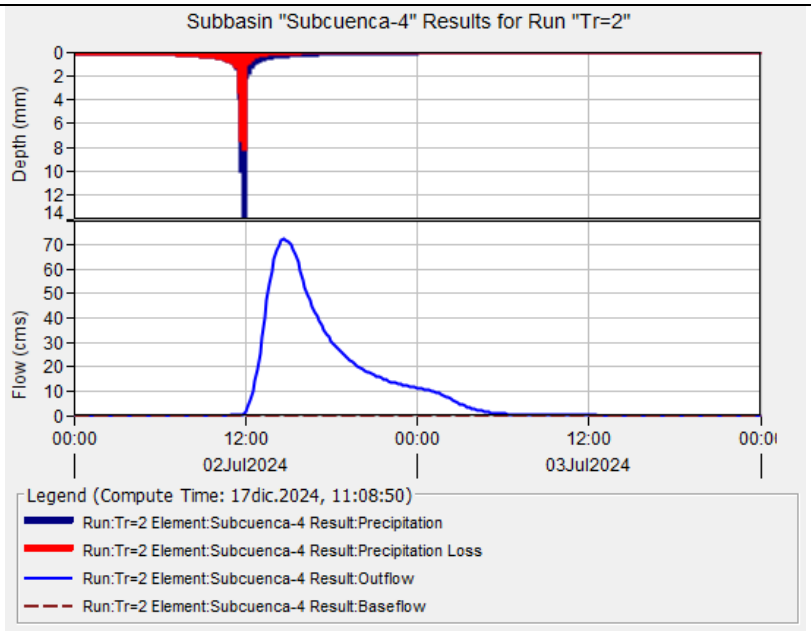
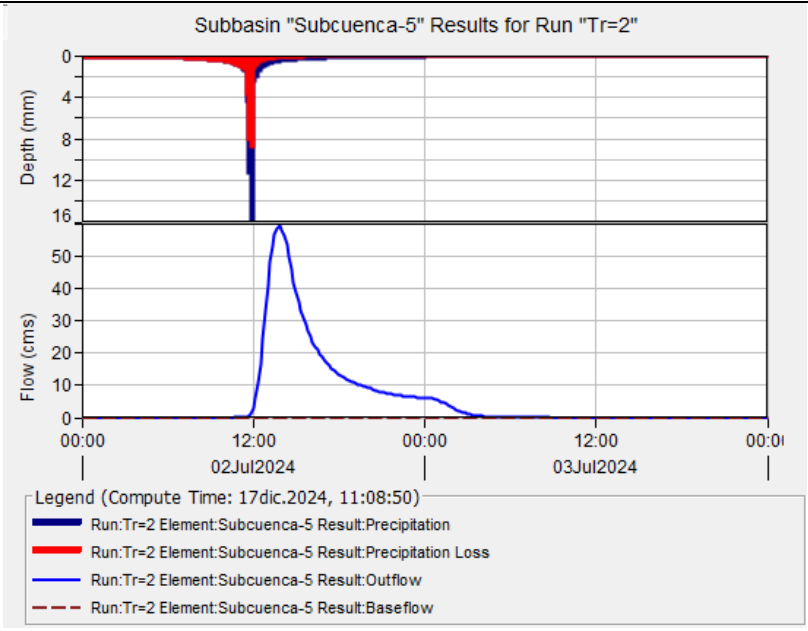
A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada subcuenca del modelo HEC-HMS, correspondientes a los diferentes periodos de retorno analizados.

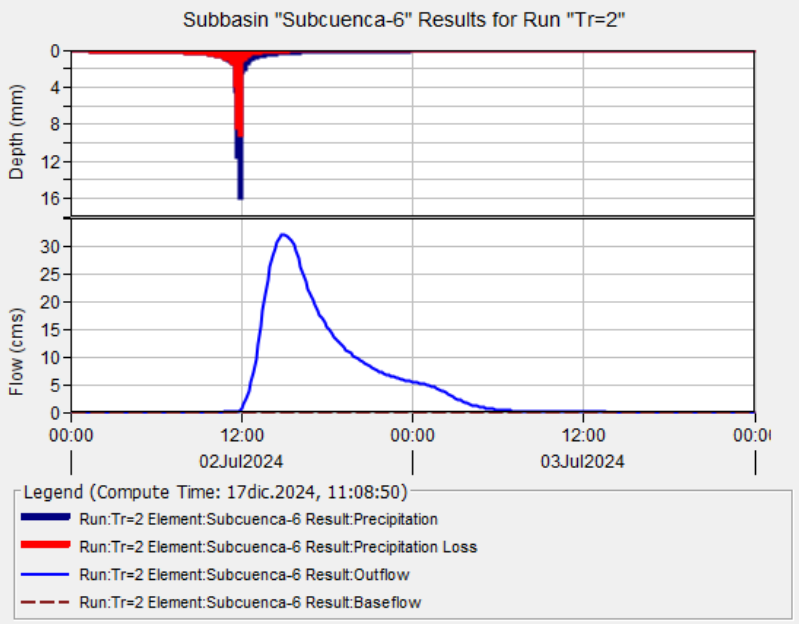
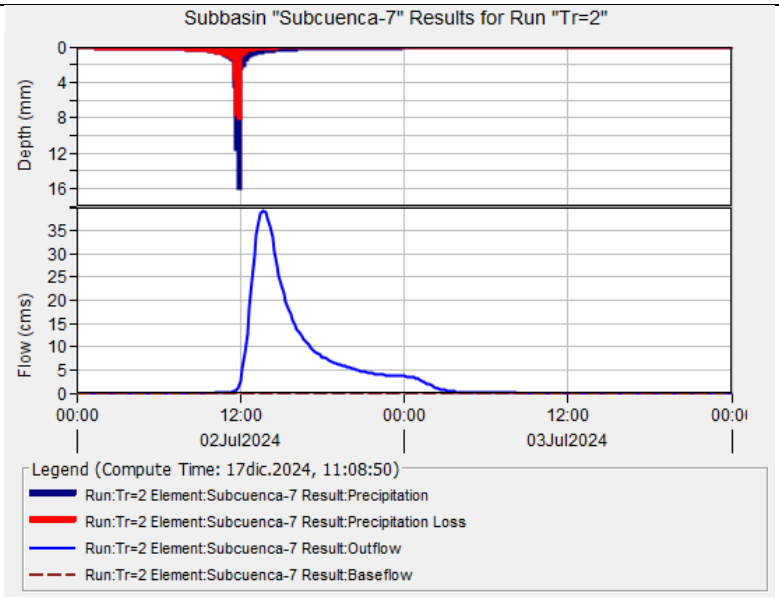
15.1 Hidrogramas sintéticos generados para distintos períodos de retorno

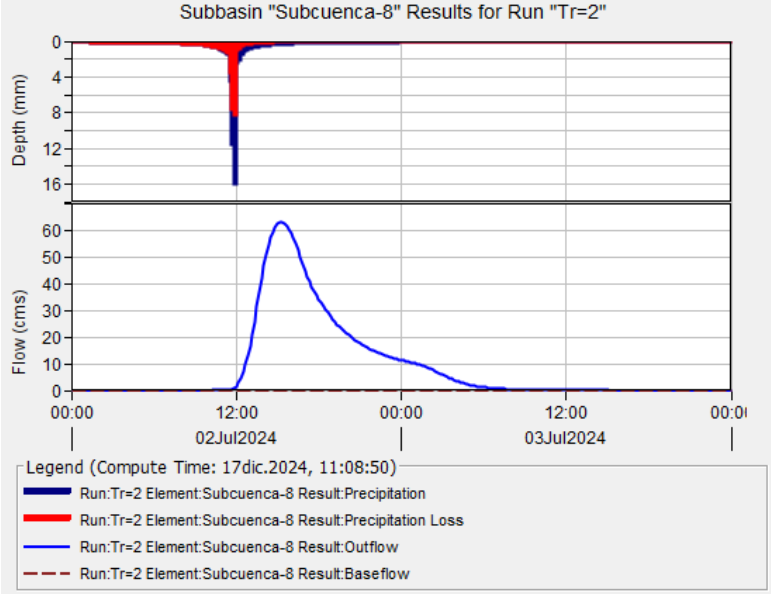
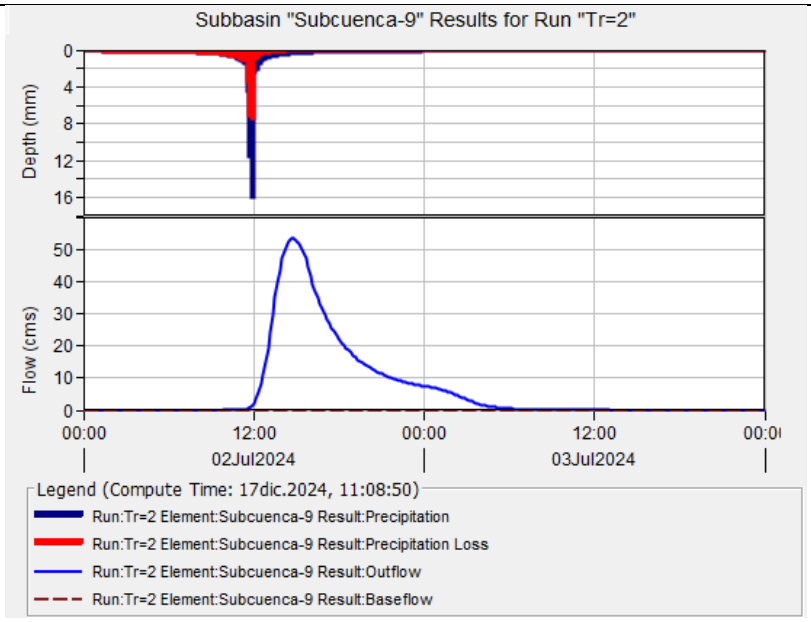
- **Resultados TR=2 AÑOS**

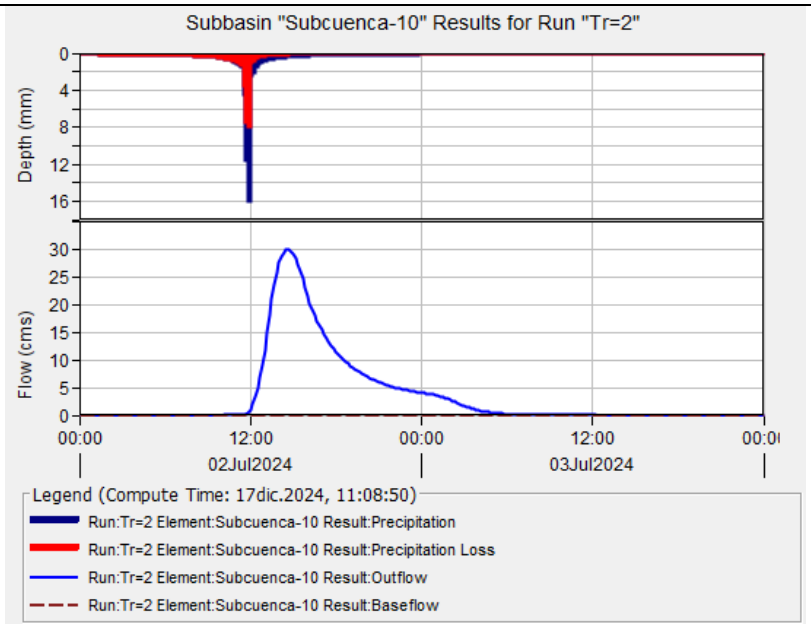
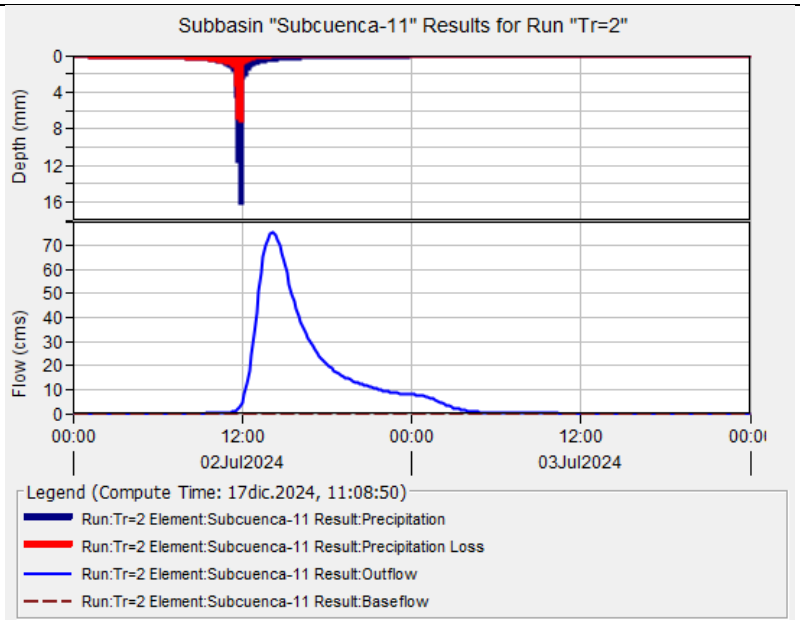
Subcuenca 01	

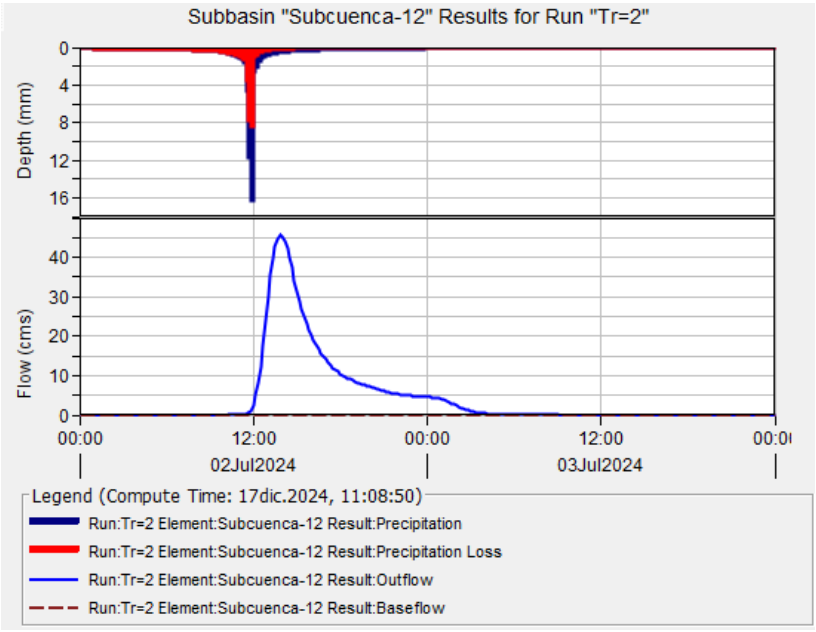
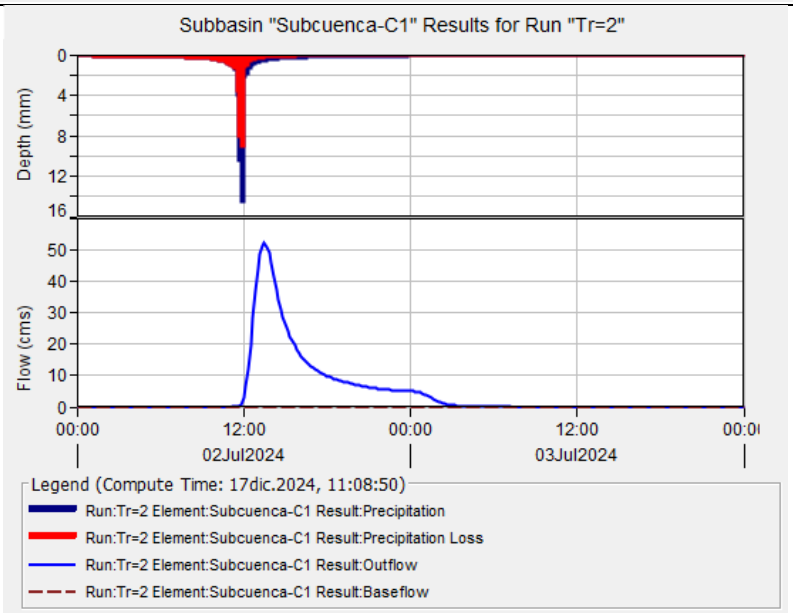
Subcuenca 02	
Subcuenca 03	

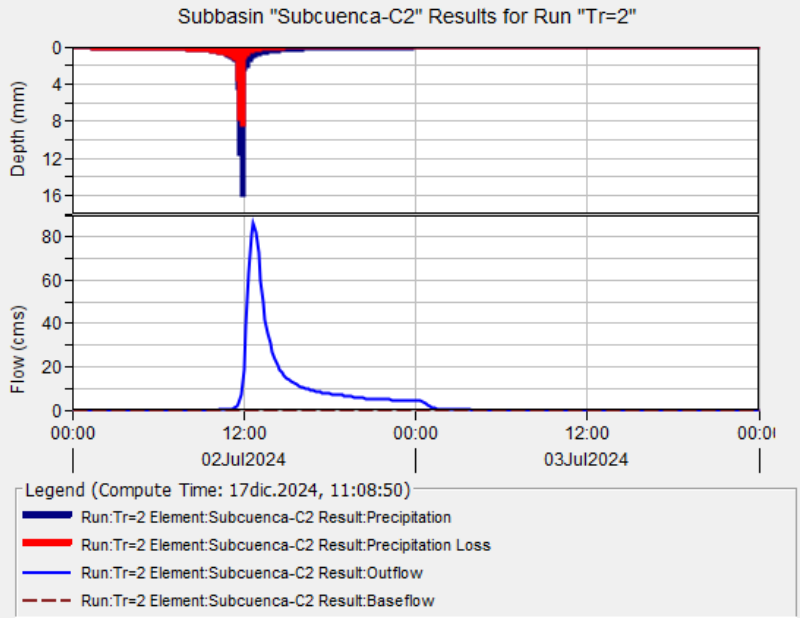
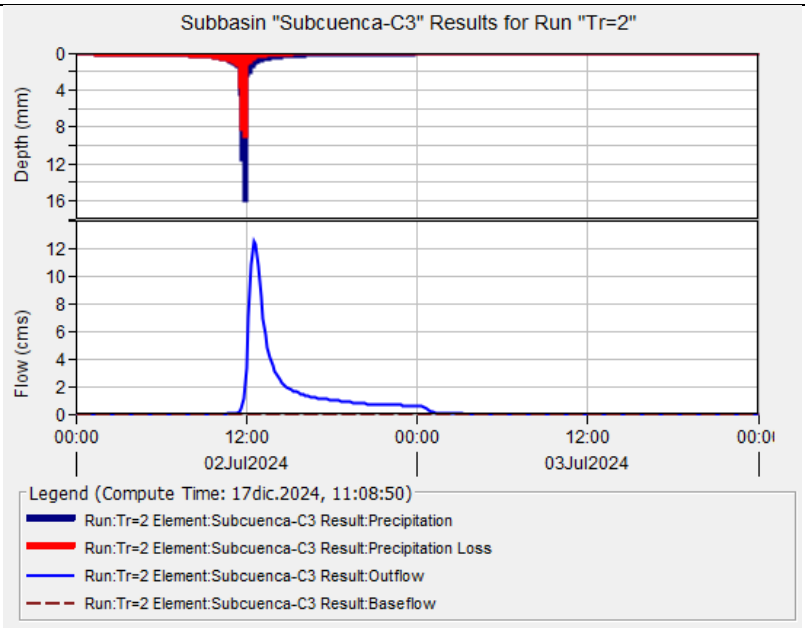
Subcuenca 04	
Subcuenca 05	

Subcuenca 06	
Subcuenca 07	

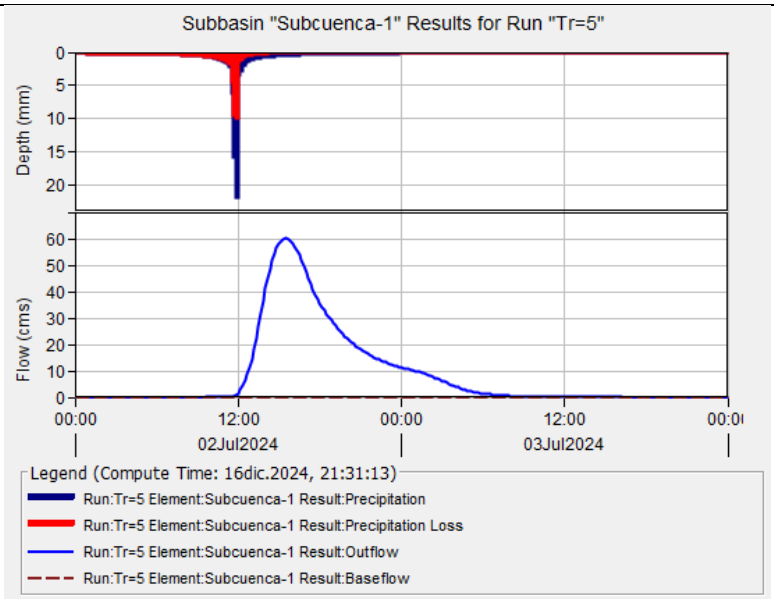
Subcuenca 08	
Subcuenca 09	

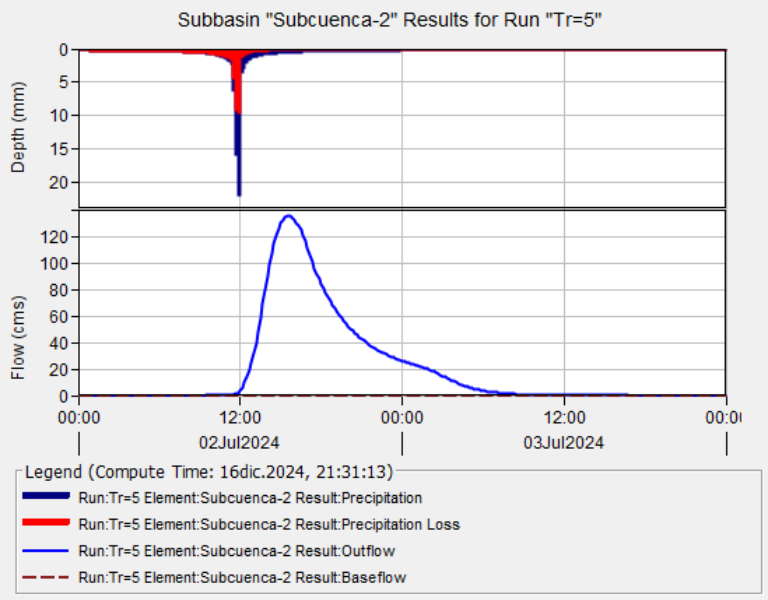
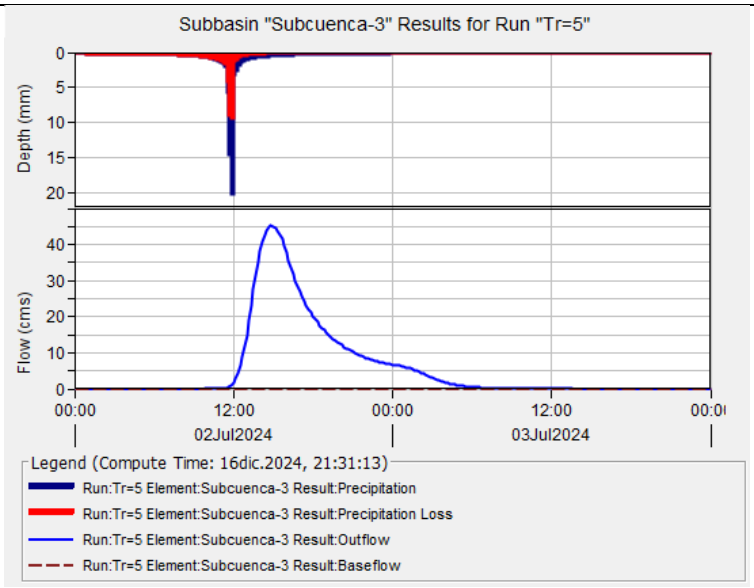
Subcuenca 10	
Subcuenca 11	

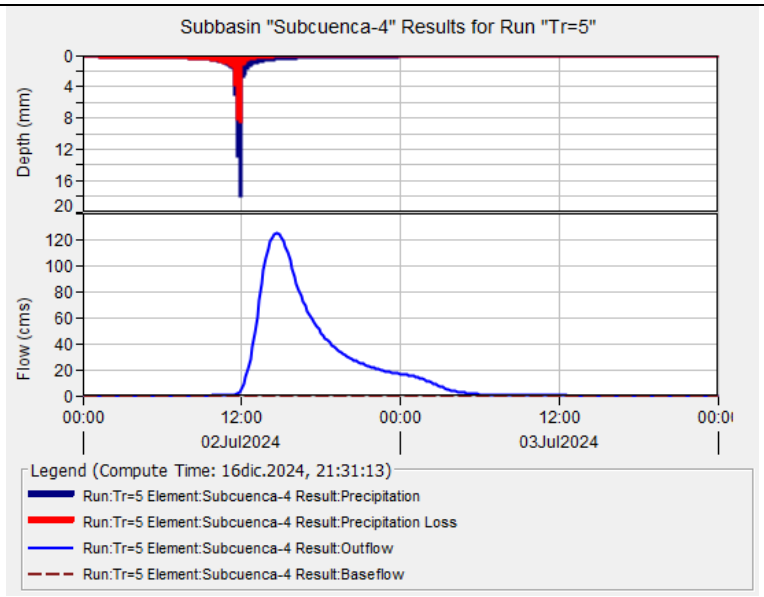
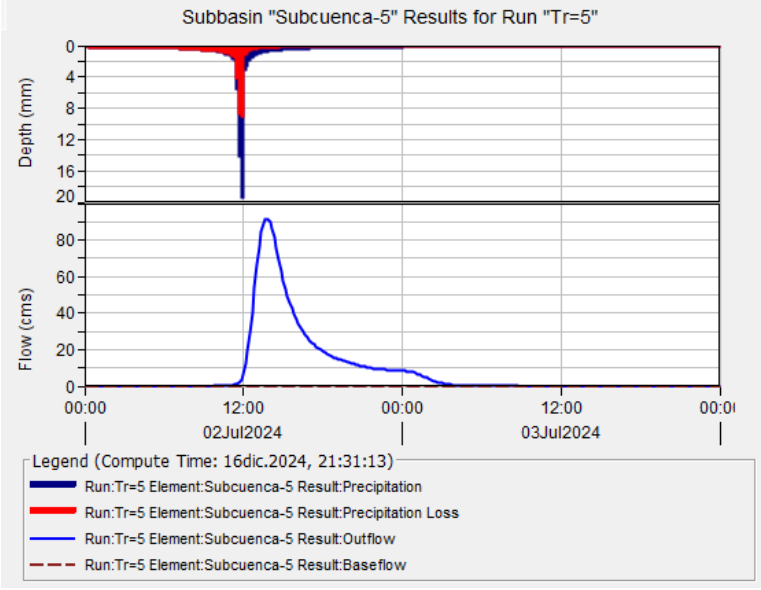
Subcuenca 12	
Subcuenca C1	

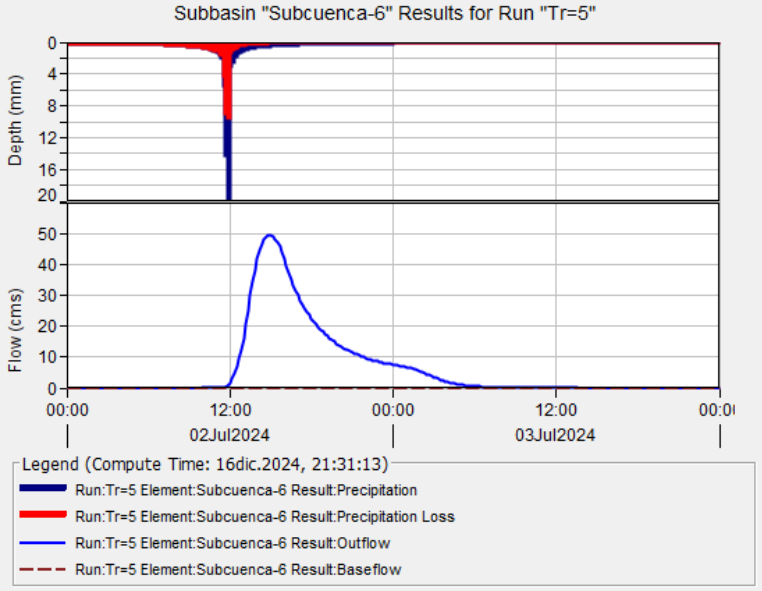
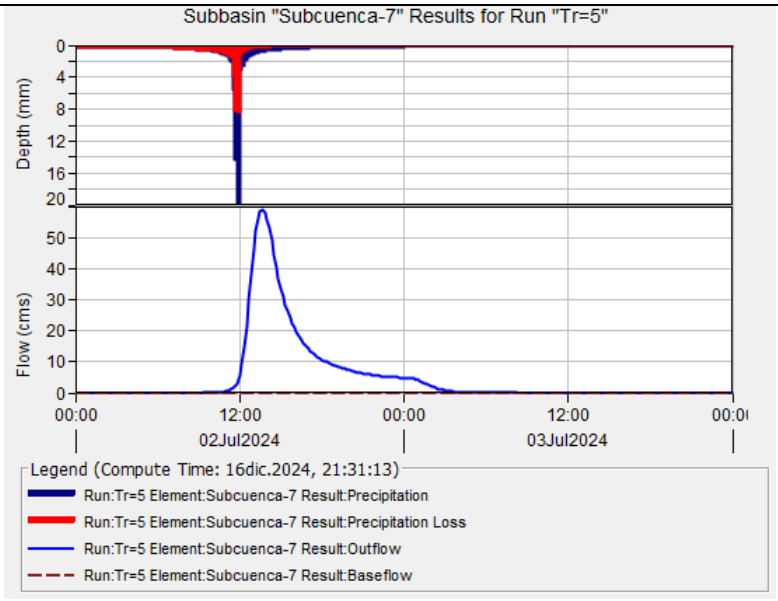
Subcuenca C2	
Subcuenca C3	

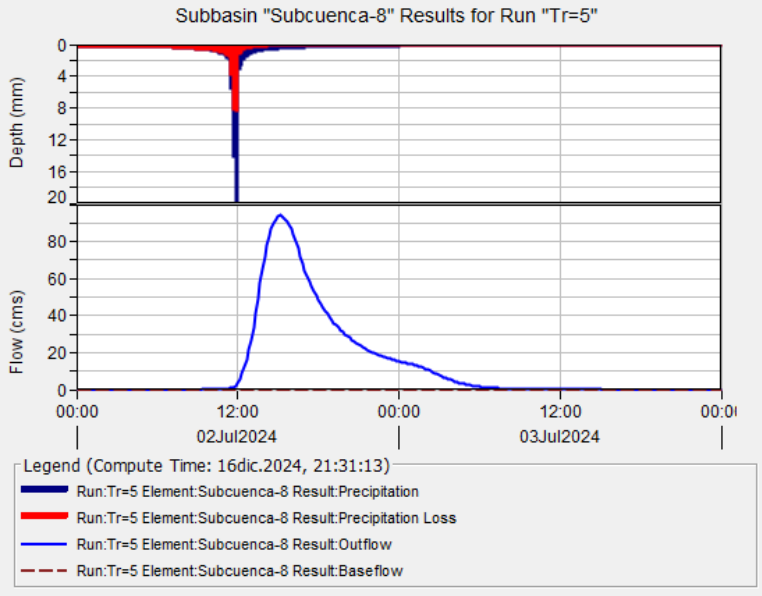
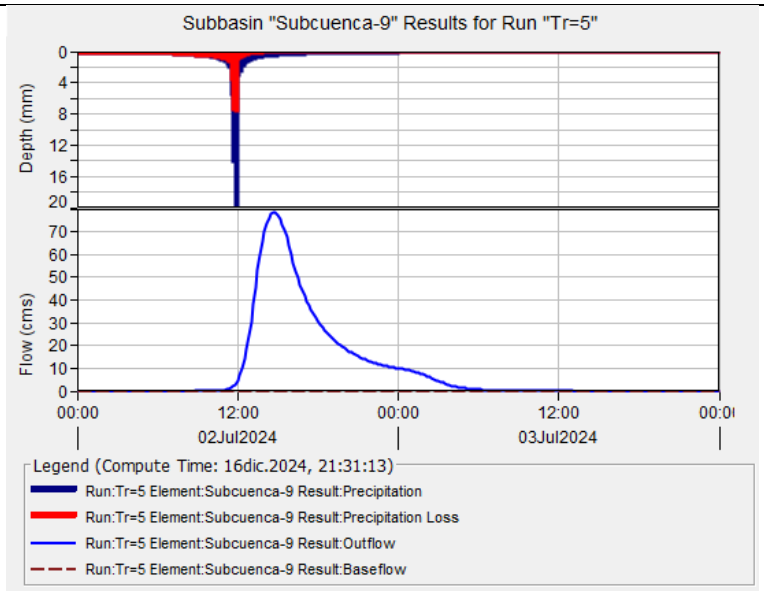
- **Resultados TR=5 AÑOS**

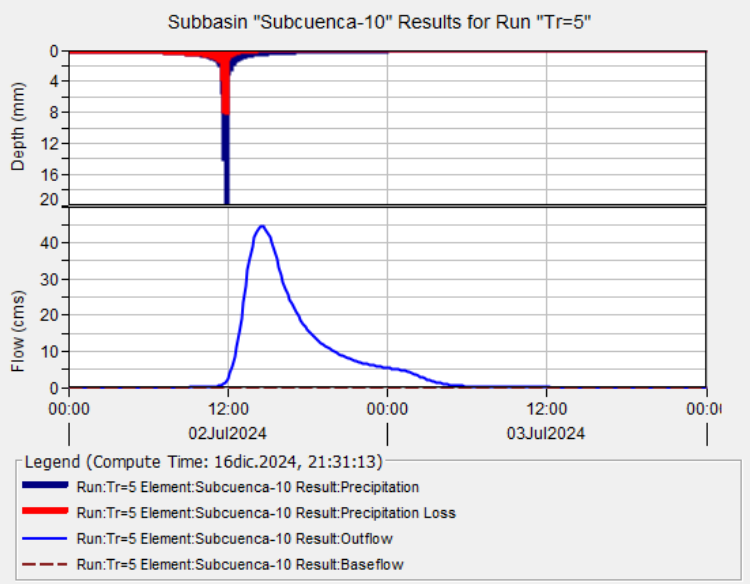
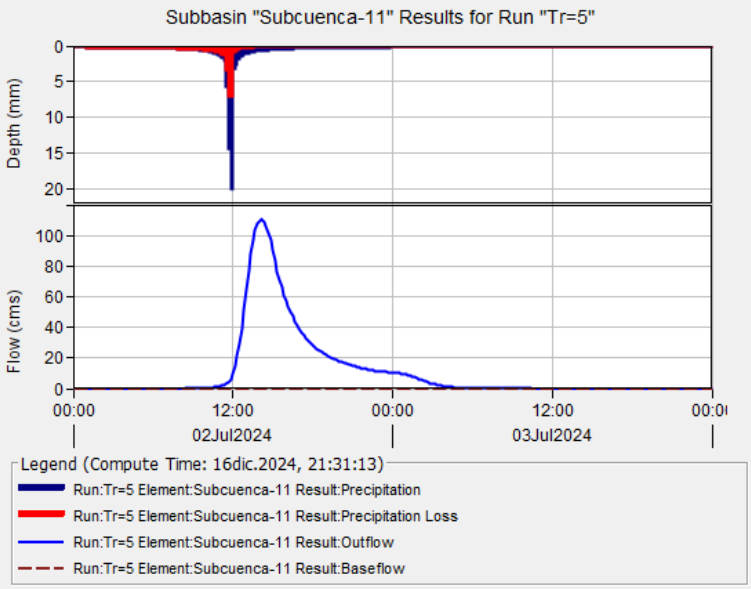
Subcuenca 01	

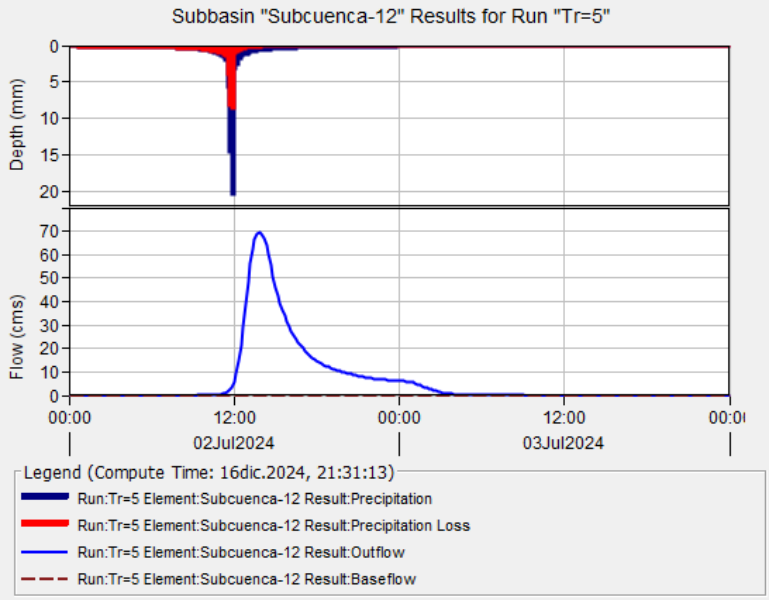
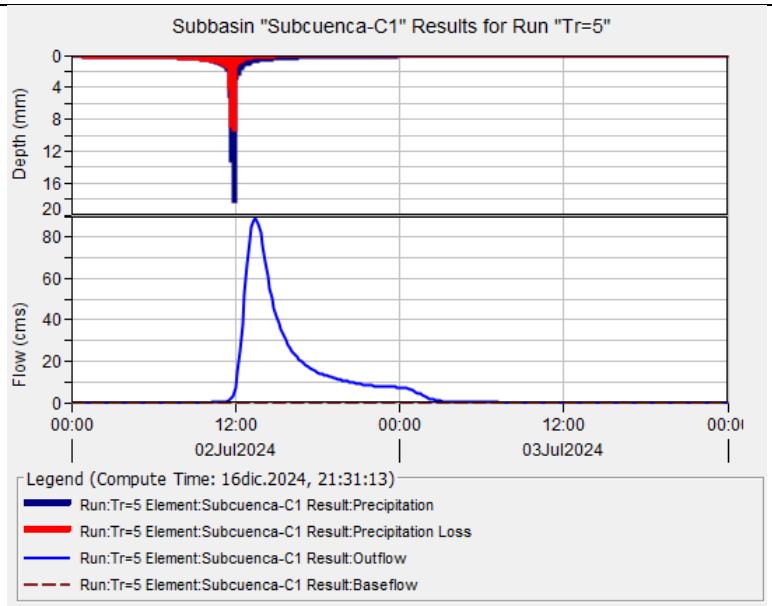
Subcuenca 02	
Subcuenca 03	

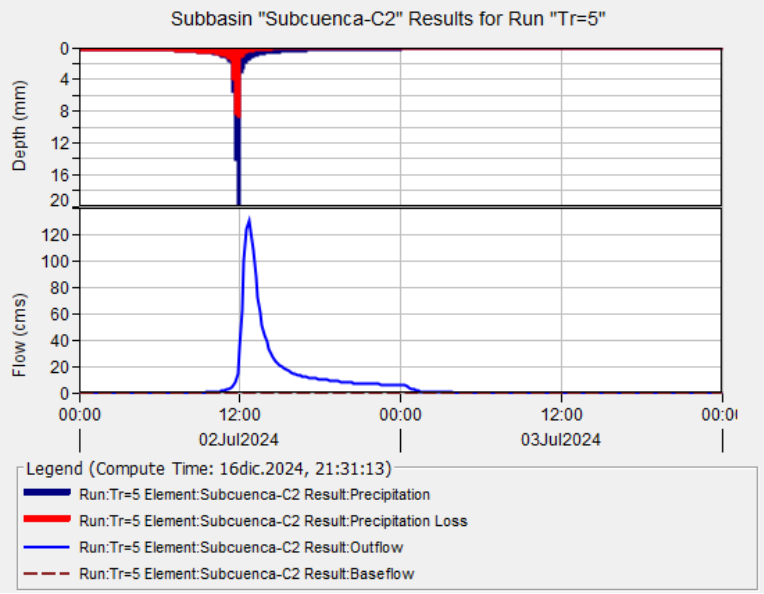
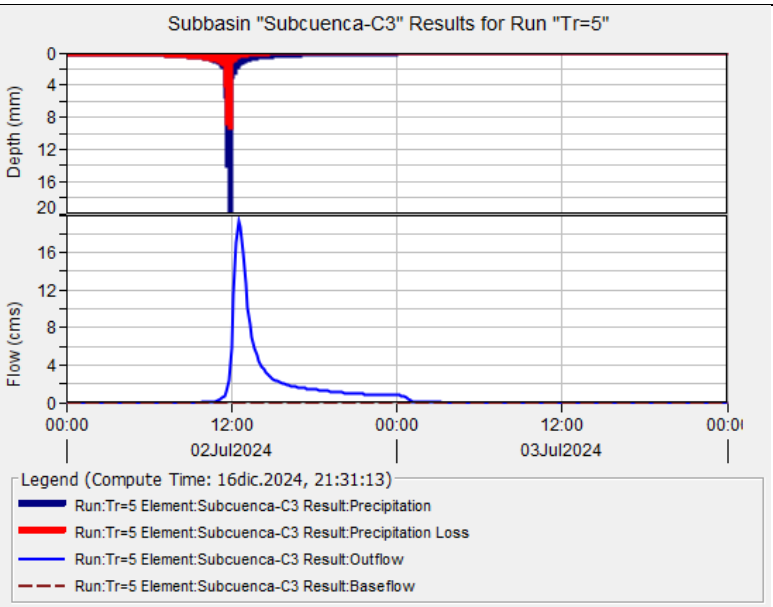
Subcuenca 04	
Subcuenca 05	

Subcuenca 06	
Subcuenca 07	

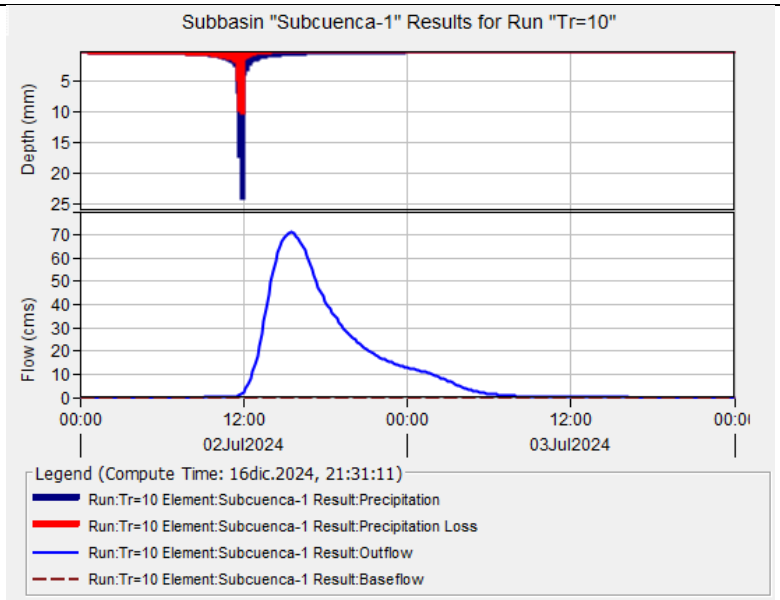
Subcuenca 08	
Subcuenca 09	

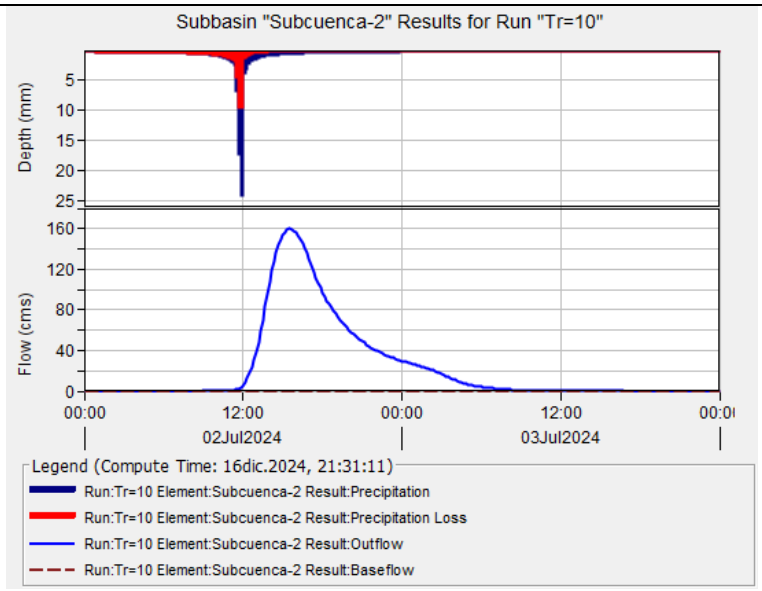
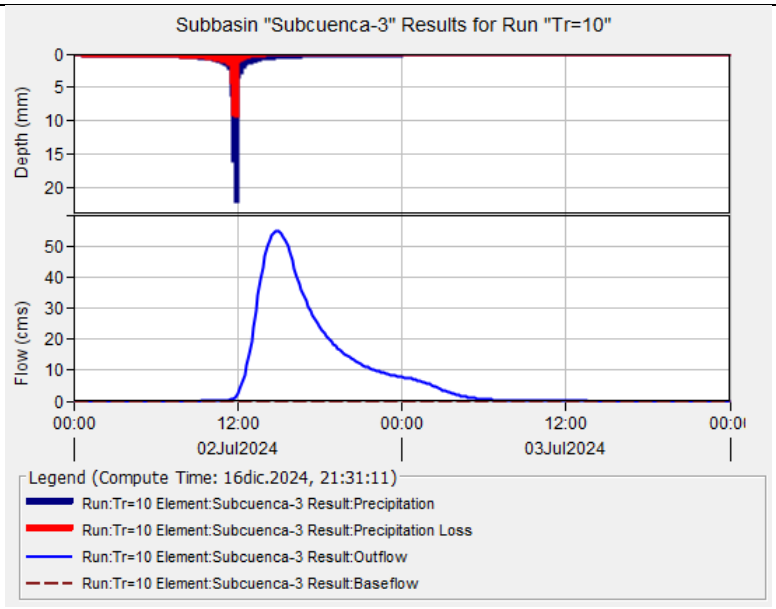
Subcuenca 10	
Subcuenca 11	

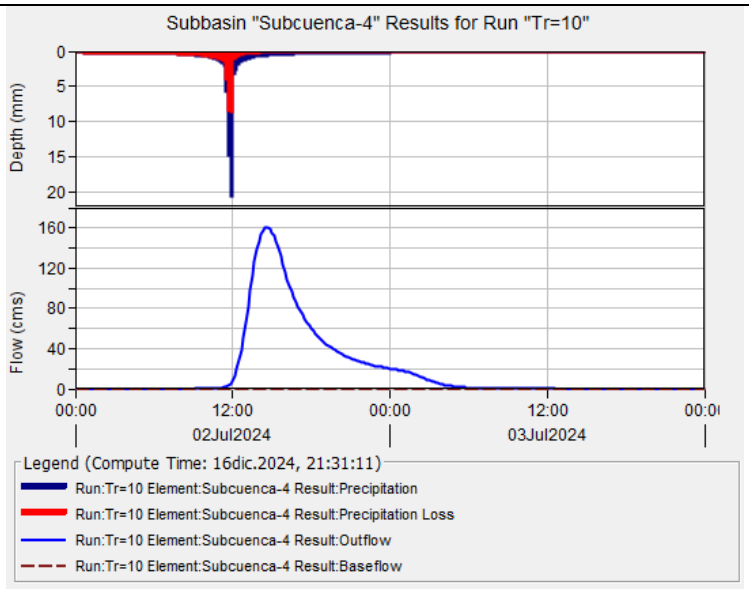
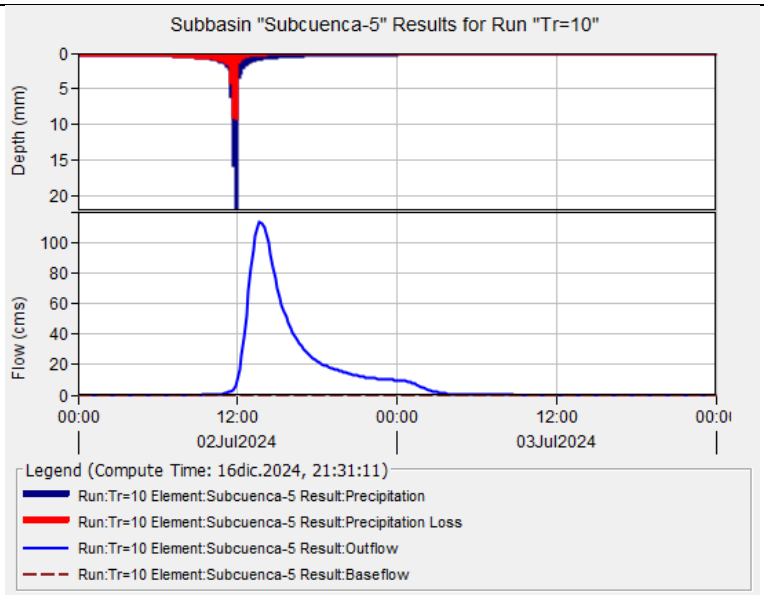
Subcuenca 12	
Subcuenca C1	

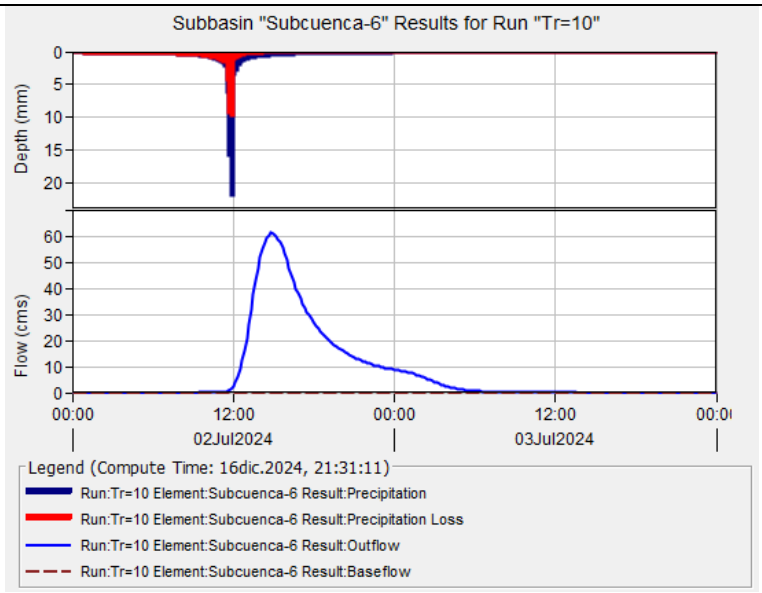
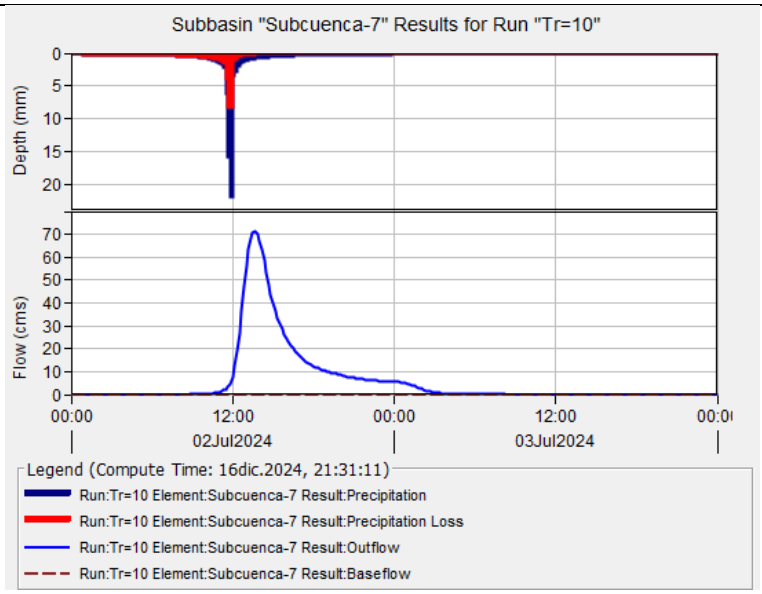
Subcuenca C2	
Subcuenca C3	

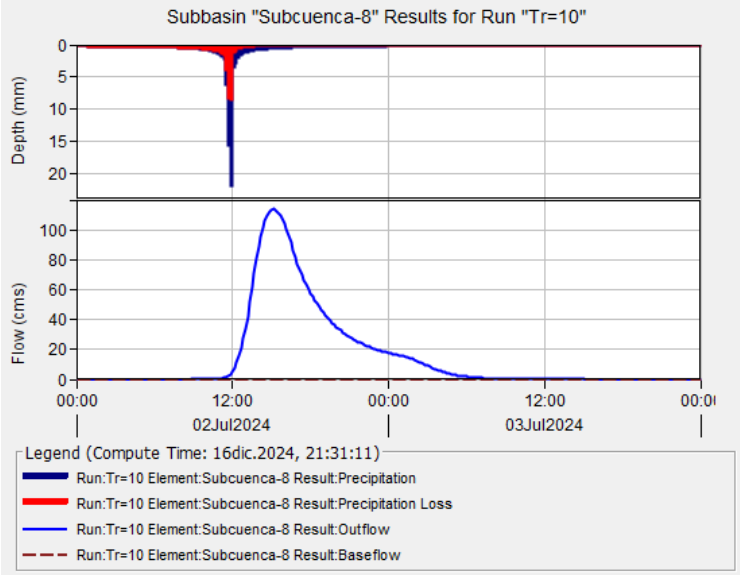
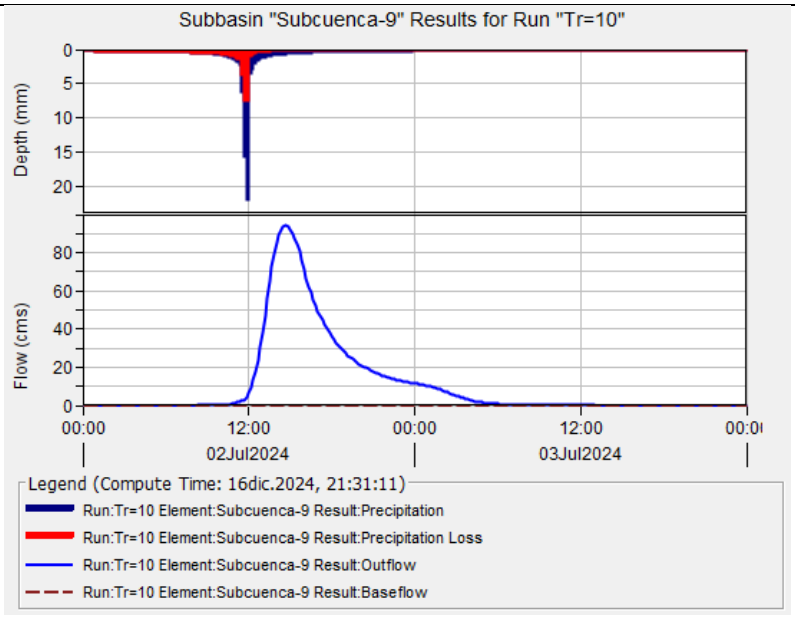
- **Resultados TR=10 AÑOS**

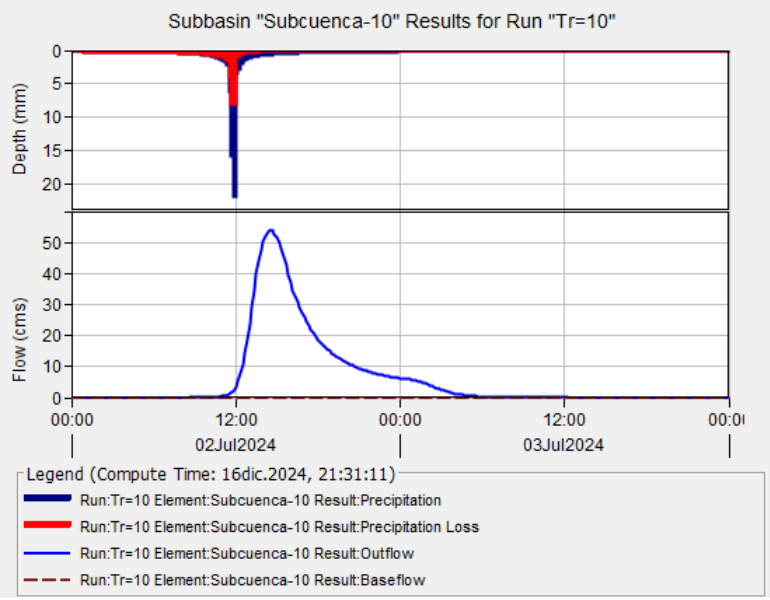
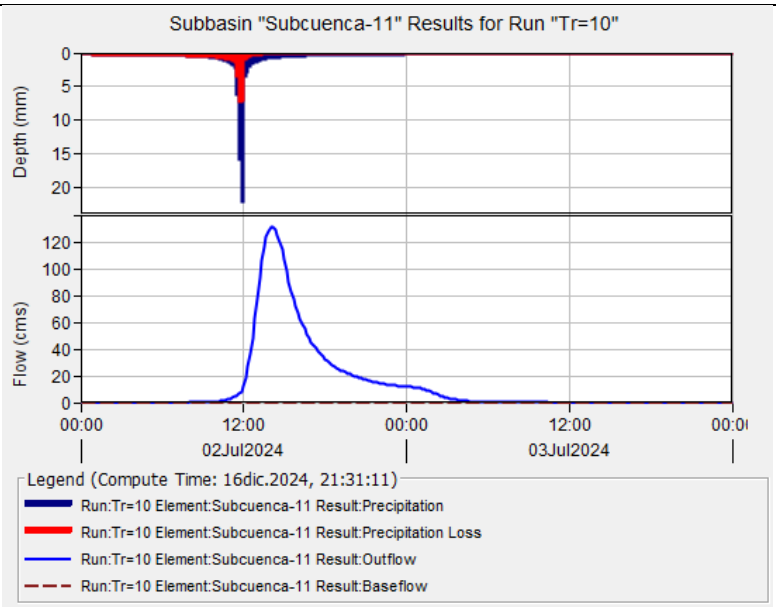
Subcuenca 01	

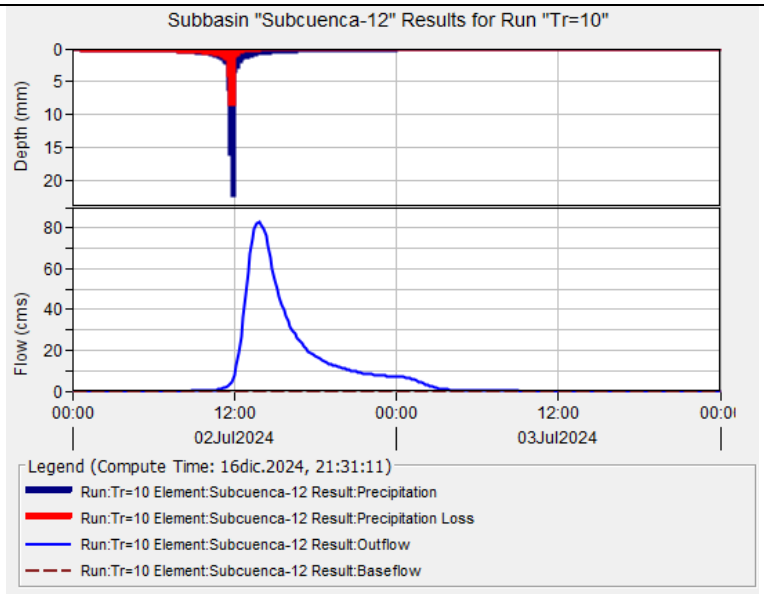
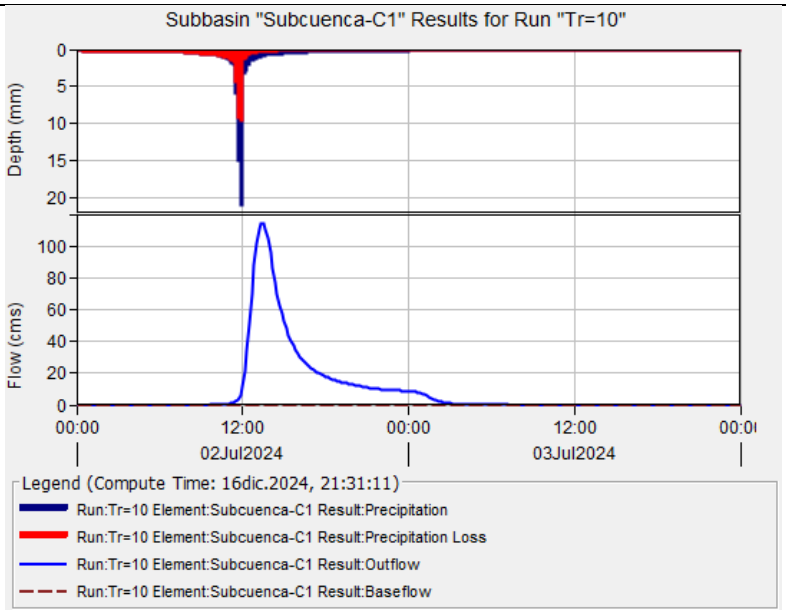
Subcuenca 02	
Subcuenca 03	

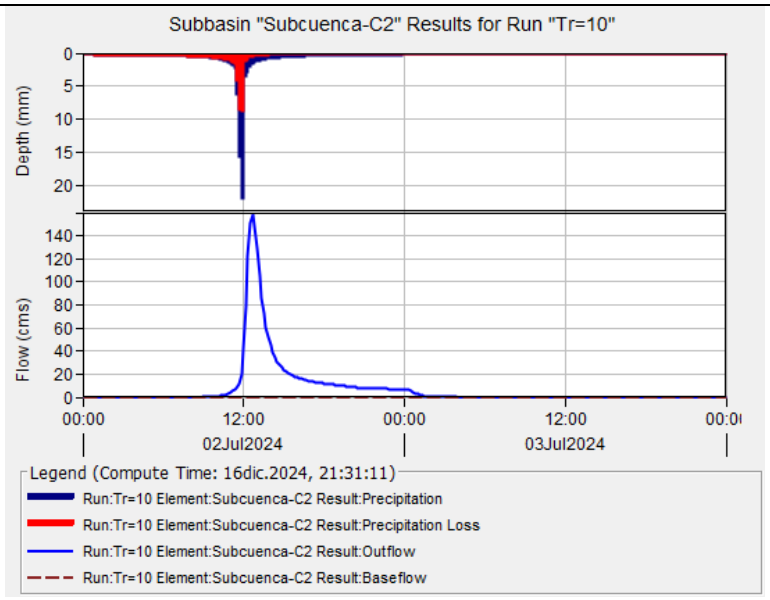
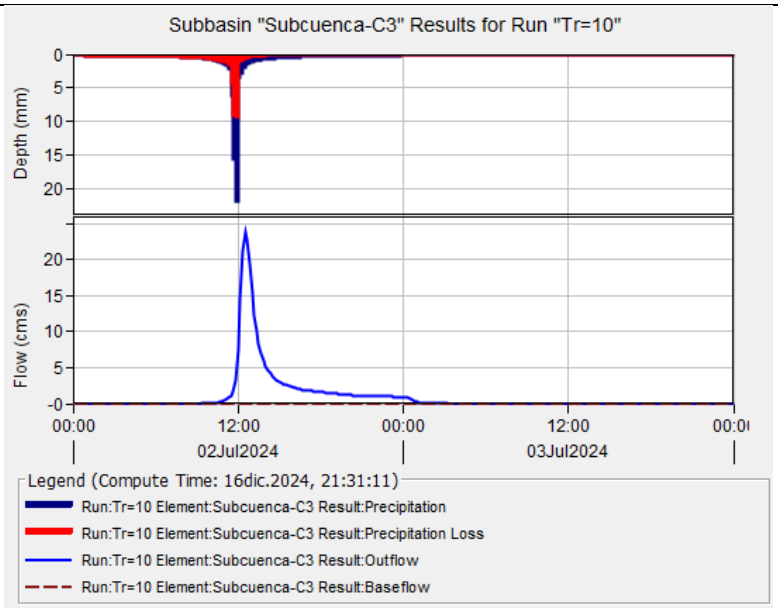
Subcuenca 04	
Subcuenca 05	

Subcuenca 06	
Subcuenca 07	

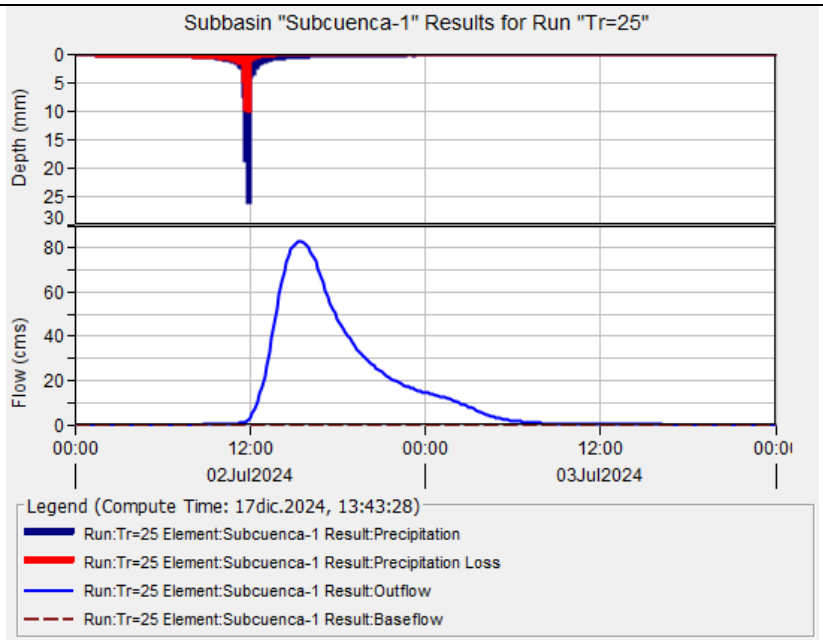
Subcuenca 08	
Subcuenca 09	

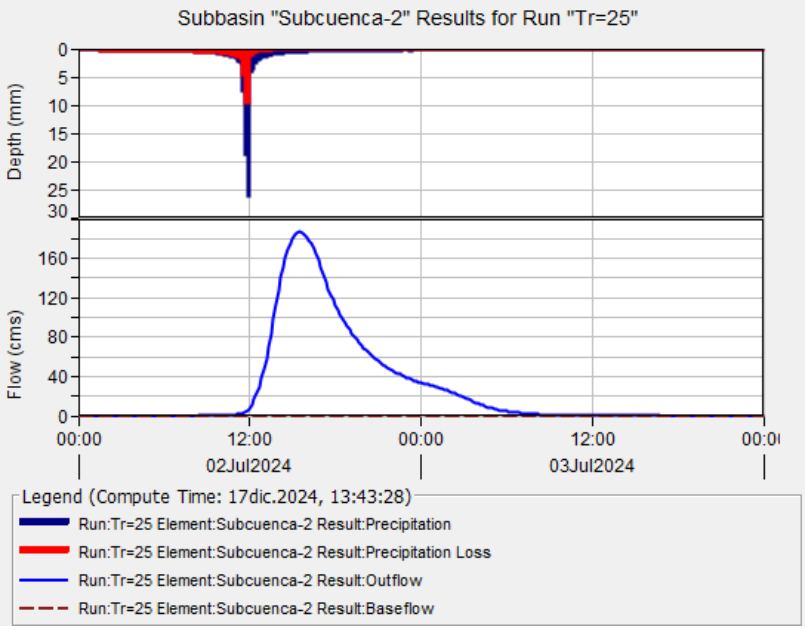
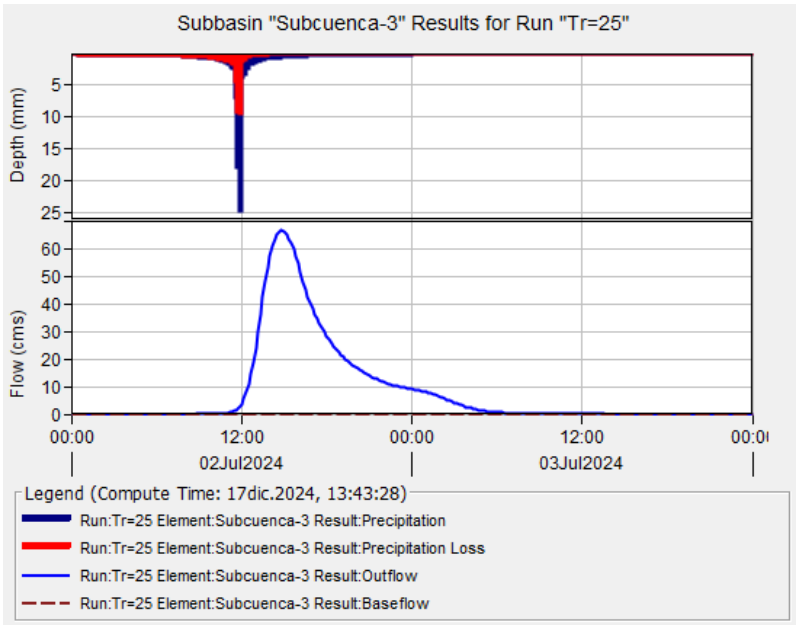
Subcuenca 10	
Subcuenca 11	

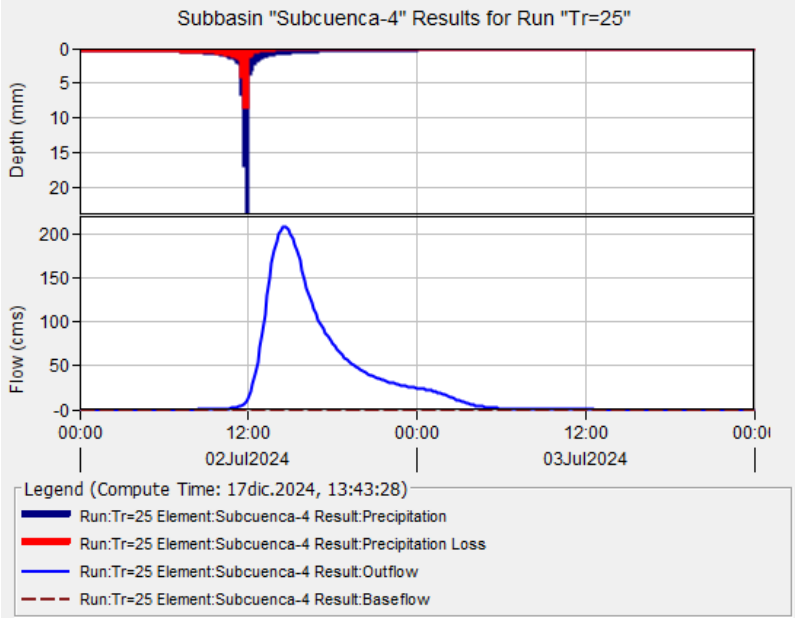
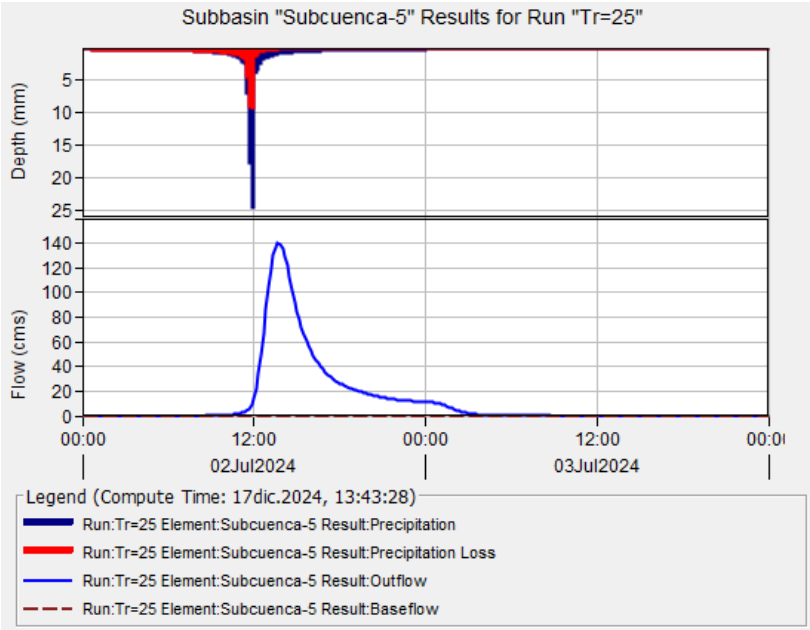
Subcuenca 12	
Subcuenca C1	

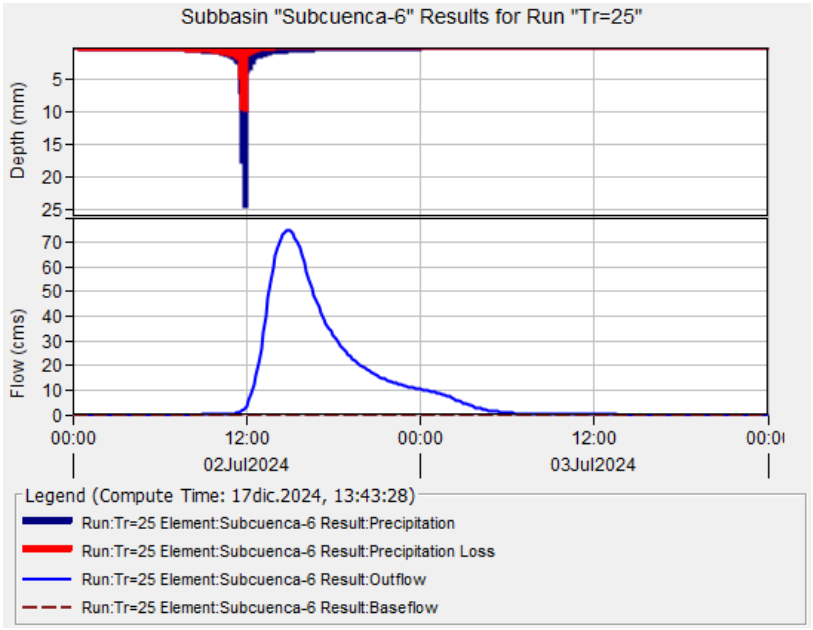
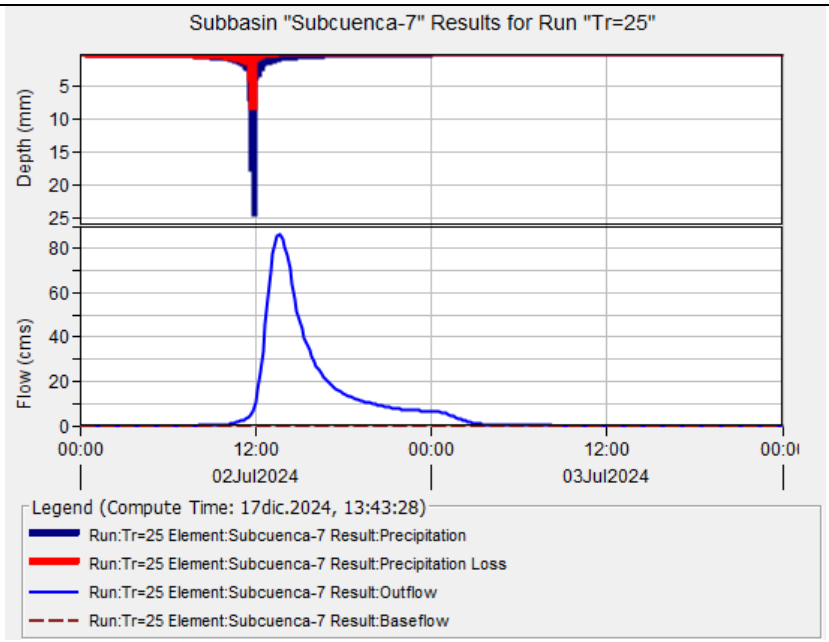
Subcuenca C2	
Subcuenca C3	

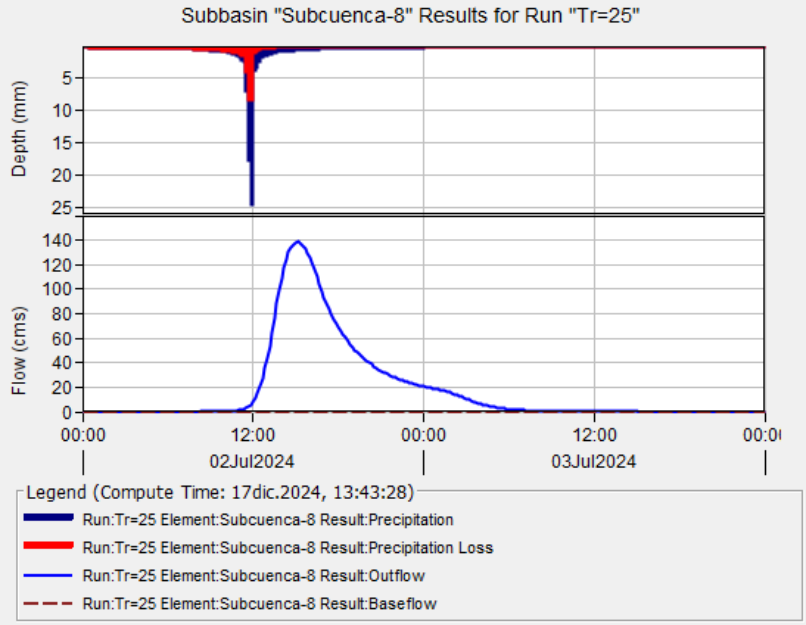
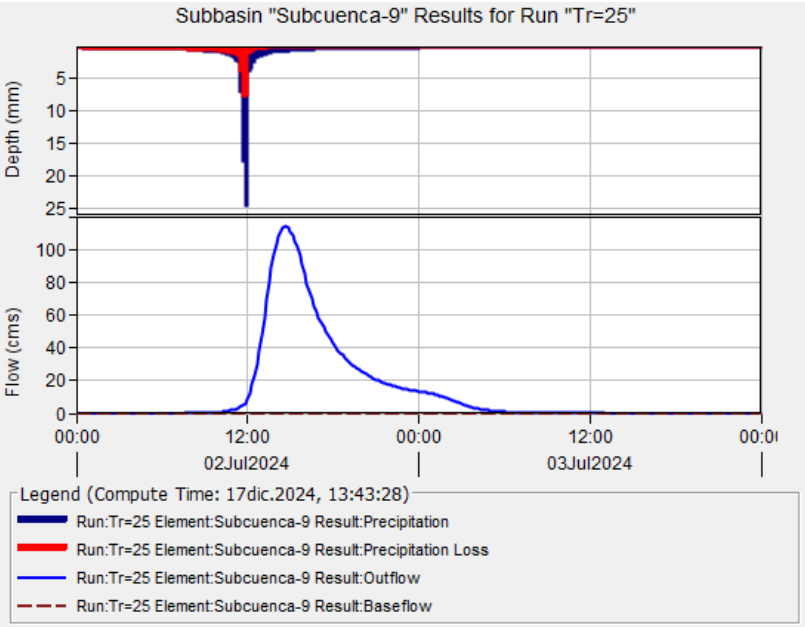
- **Resultados TR=25 AÑOS**

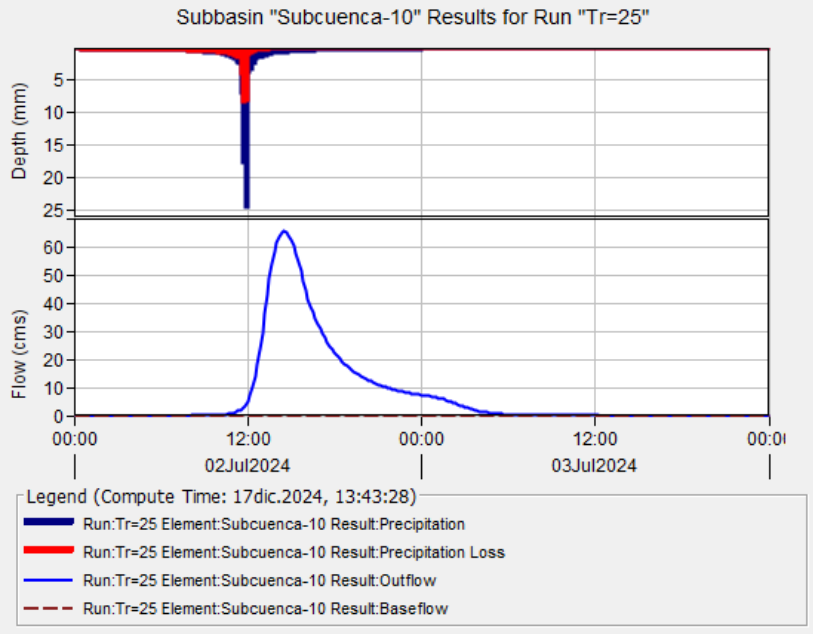
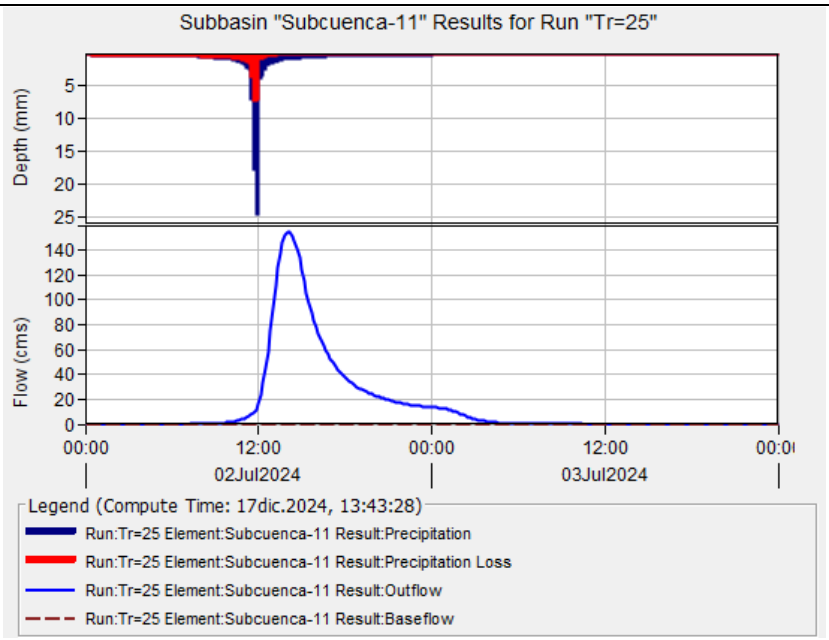
Subcuenca 01	

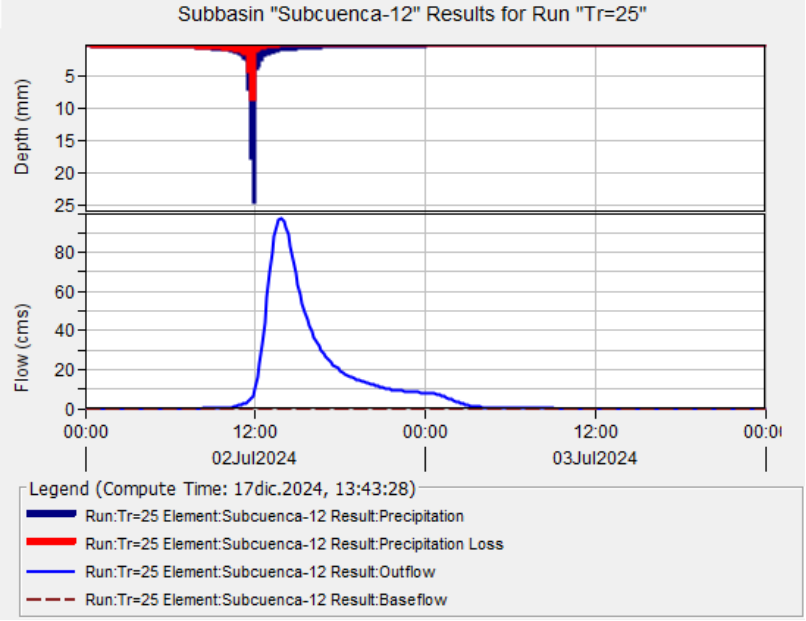
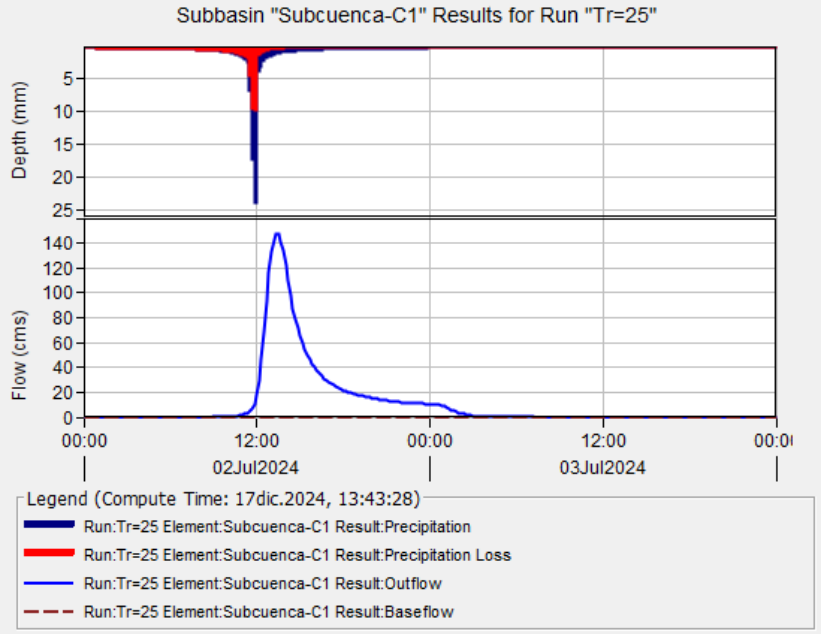
Subcuenca 02	
Subcuenca 03	

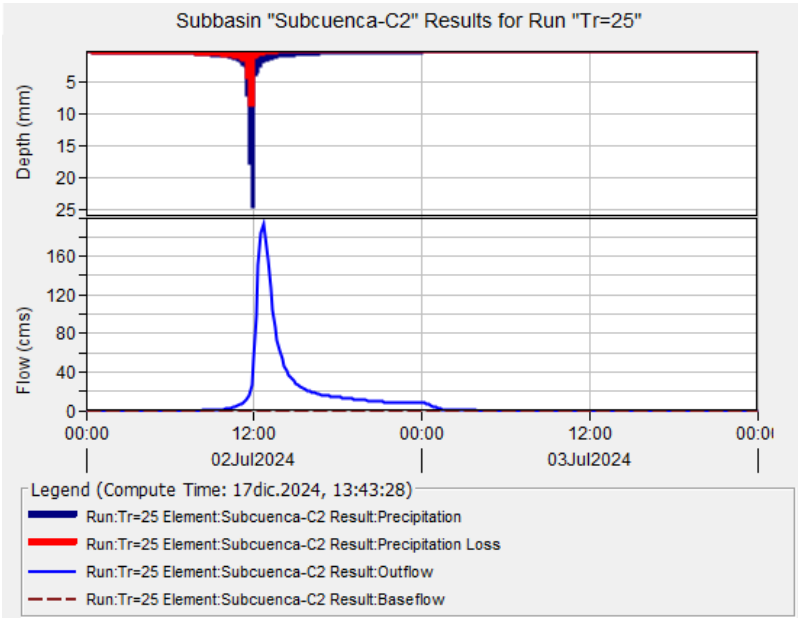
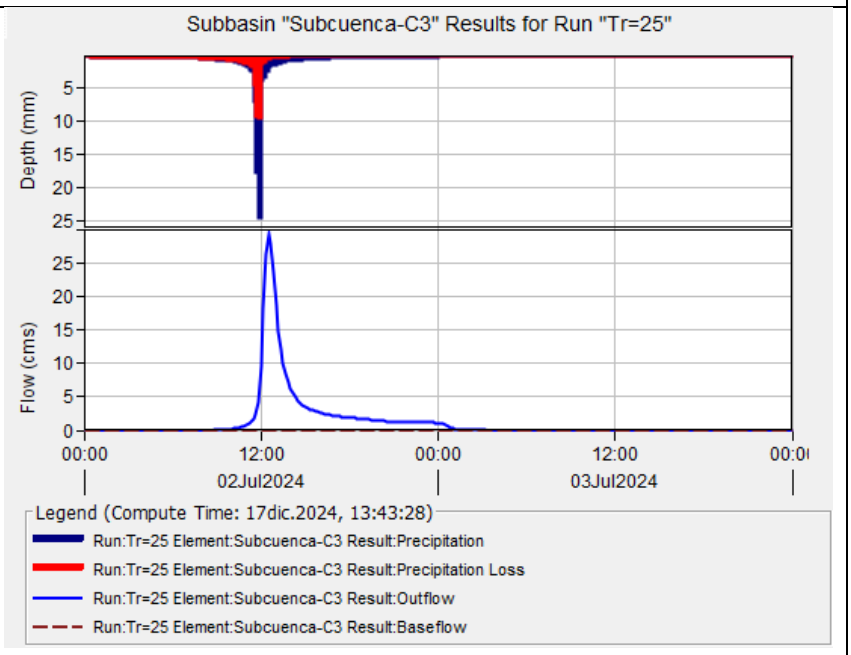
Subcuenca 04	
Subcuenca 05	

Subcuenca 06	
Subcuenca 07	

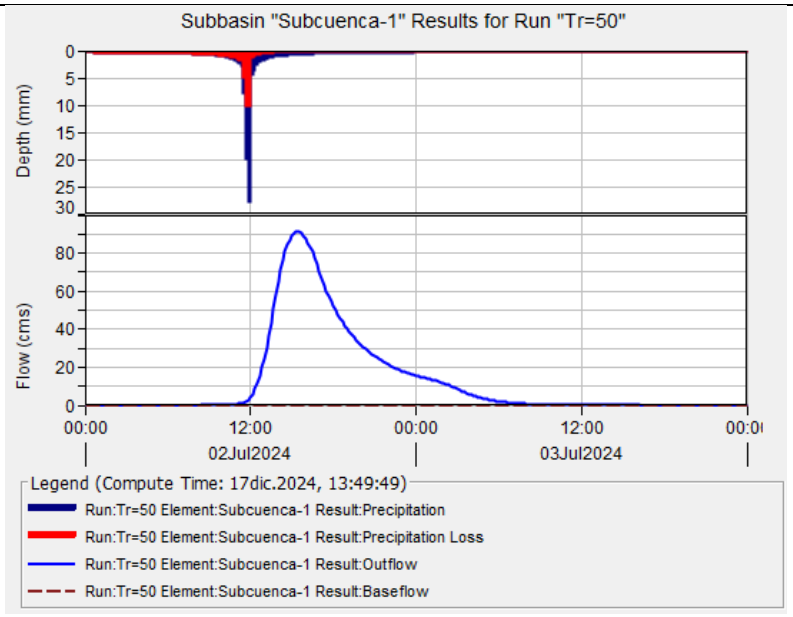
Subcuenca 08	
Subcuenca 09	

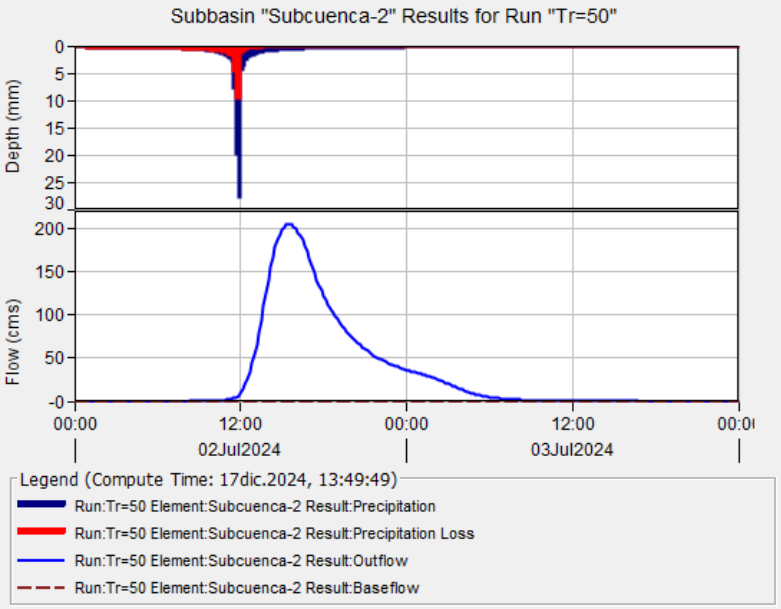
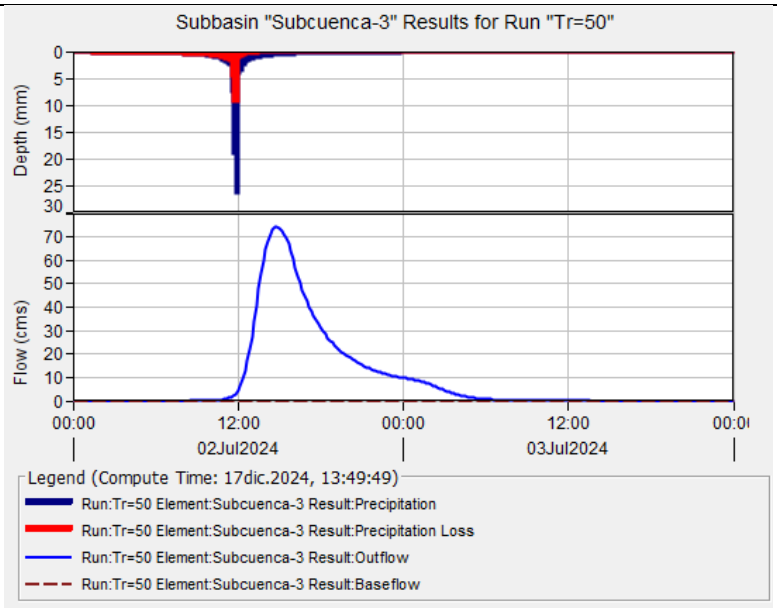
Subcuenca 10	
Subcuenca 11	

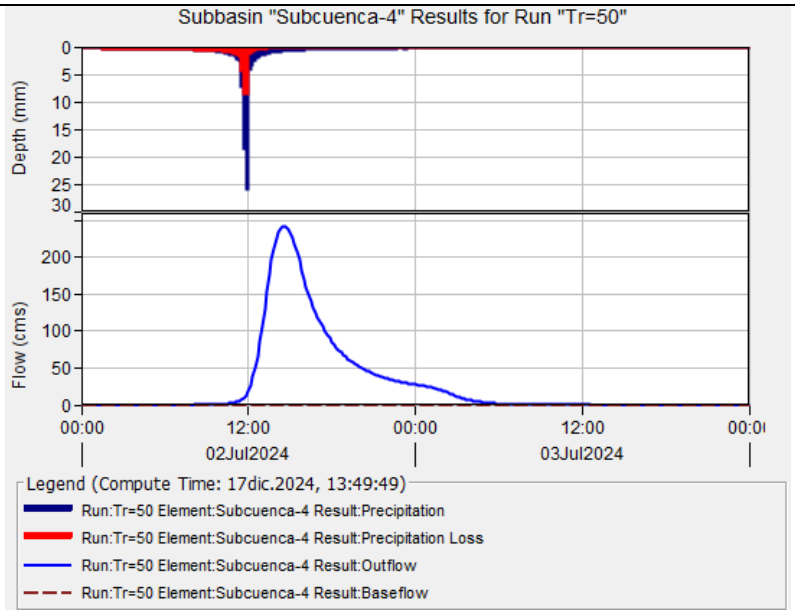
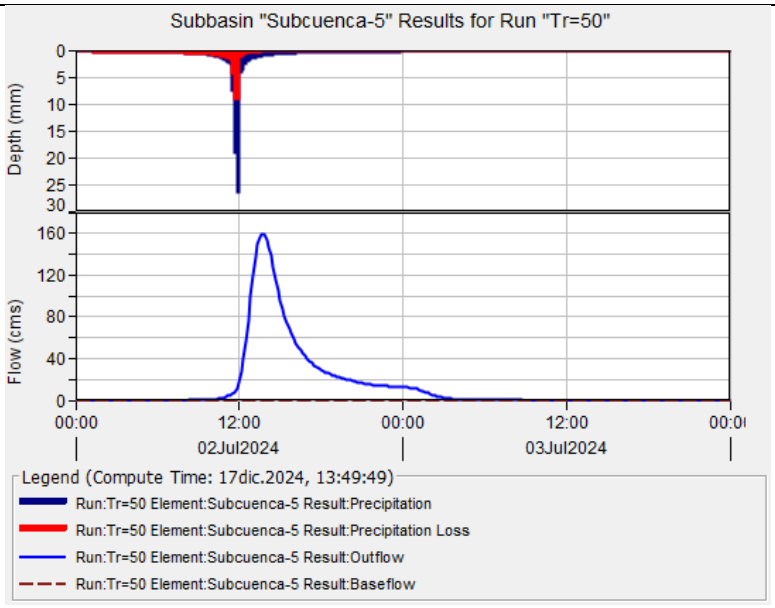
Subcuenca 12	
Subcuenca C1	

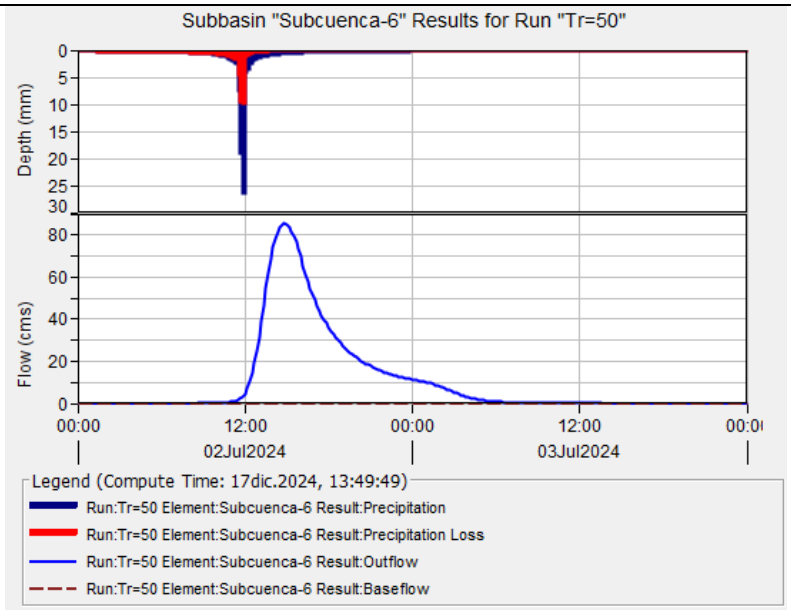
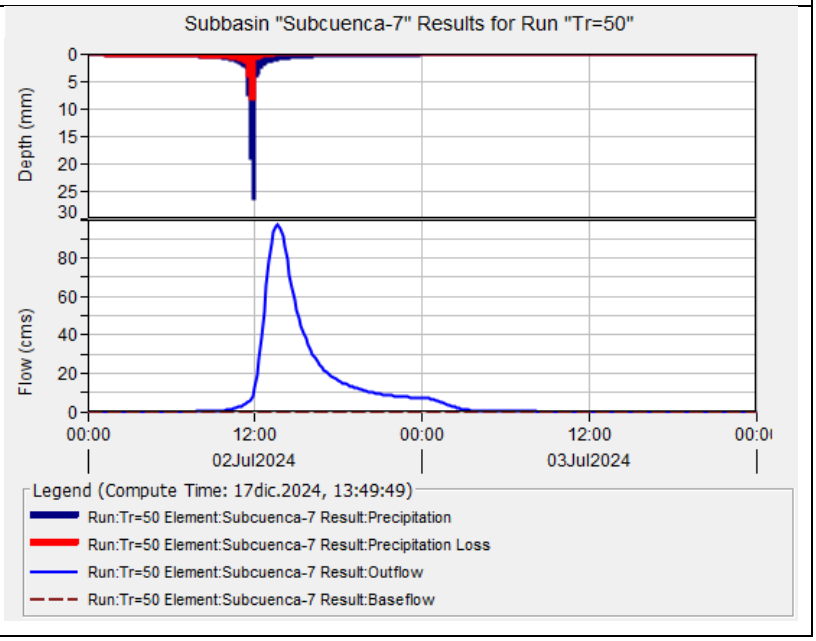
Subcuenca C2	
Subcuenca C3	

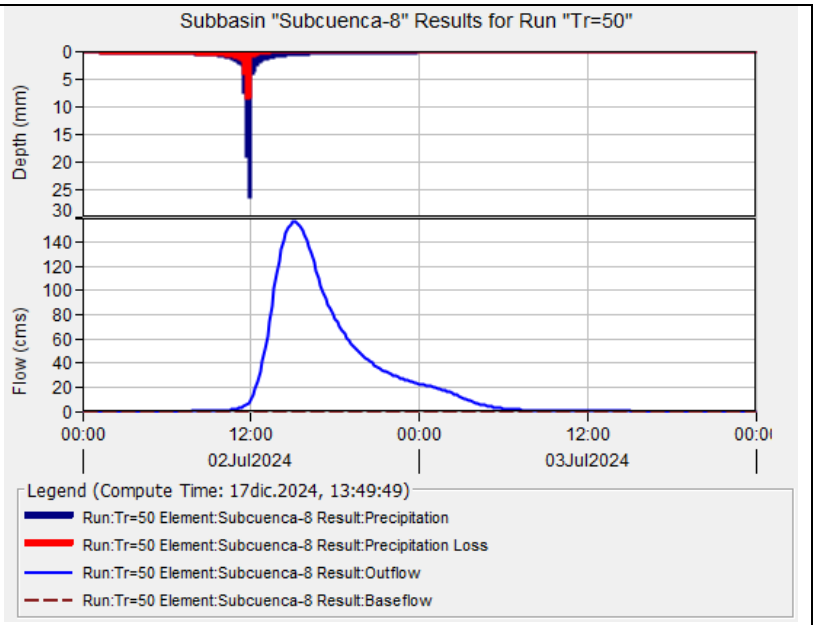
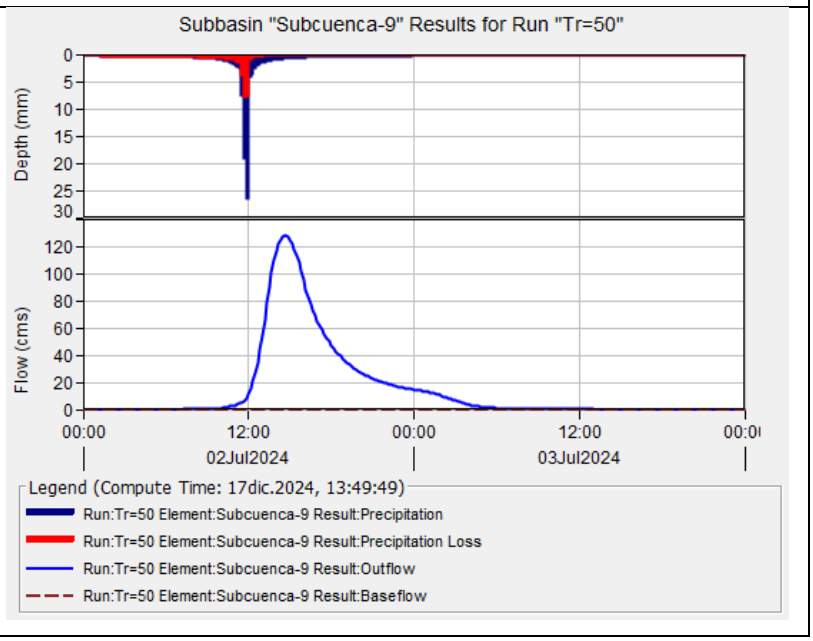
- **Resultados TR=50 AÑOS**

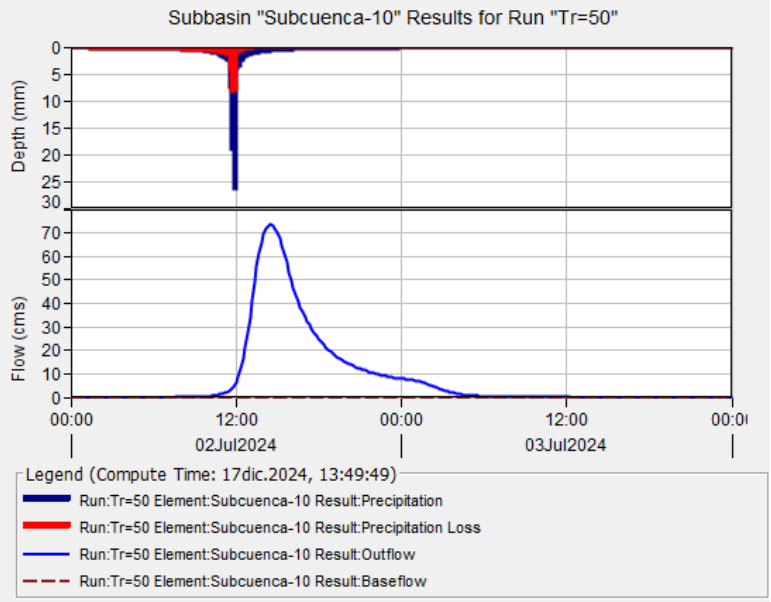
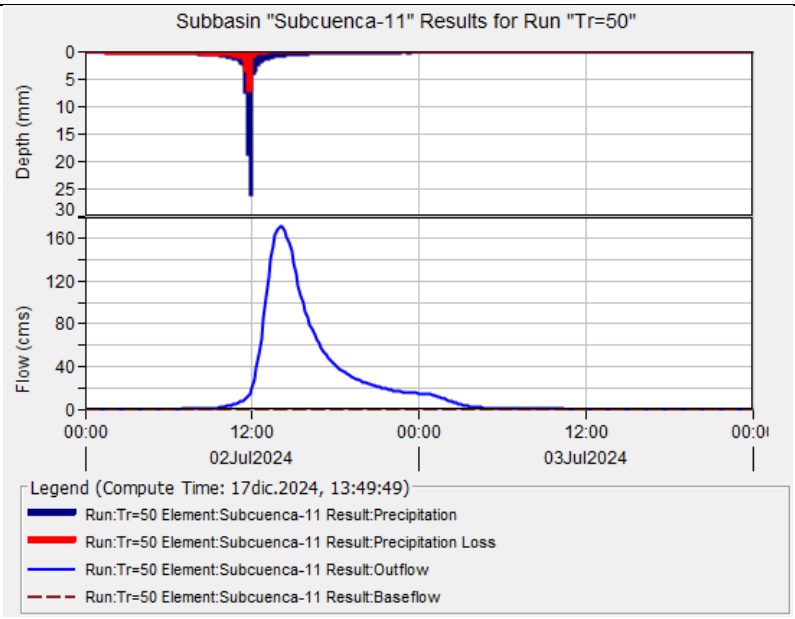
Subcuenca 01	

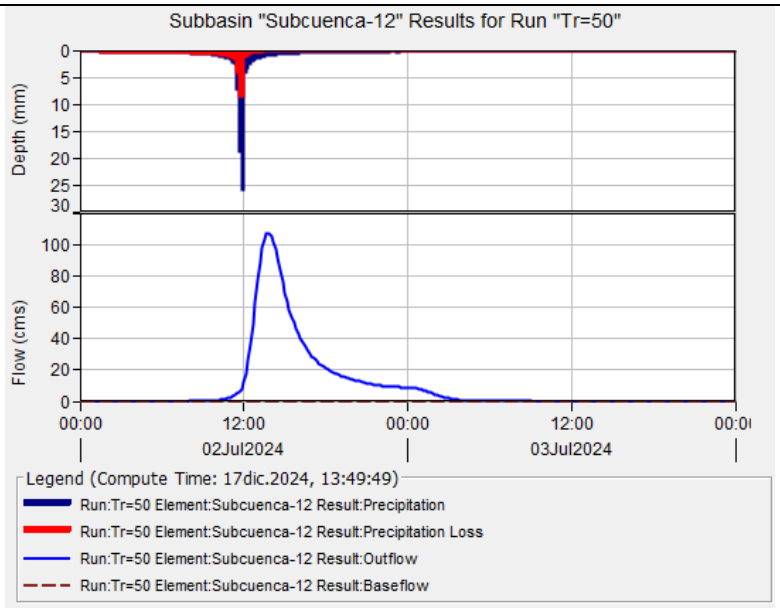
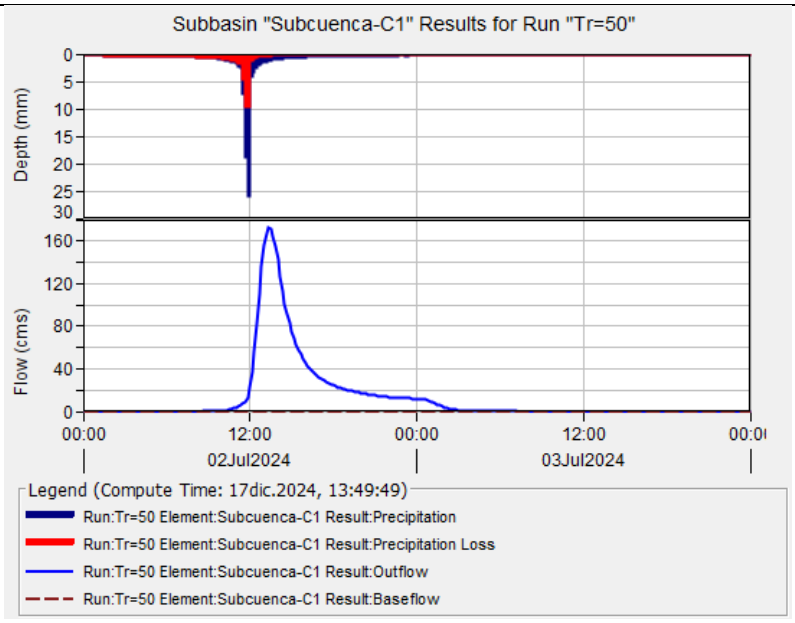
Subcuenca 02	
Subcuenca 03	

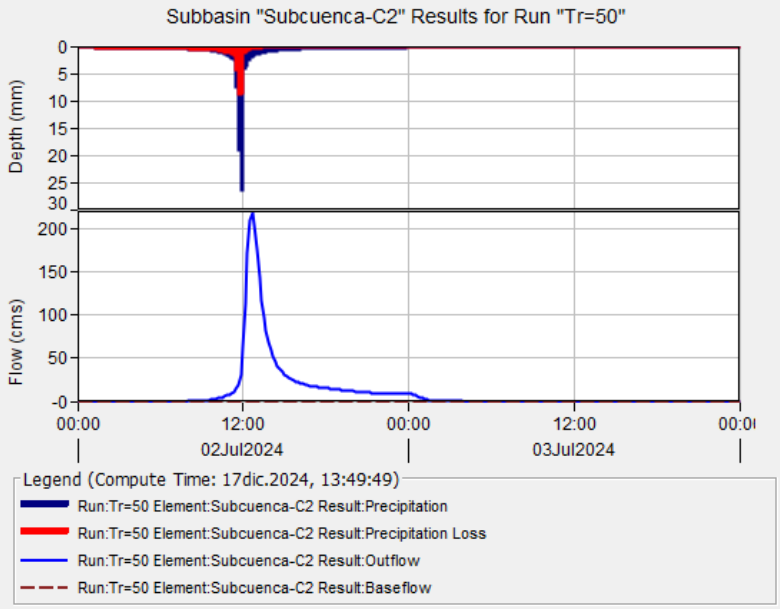
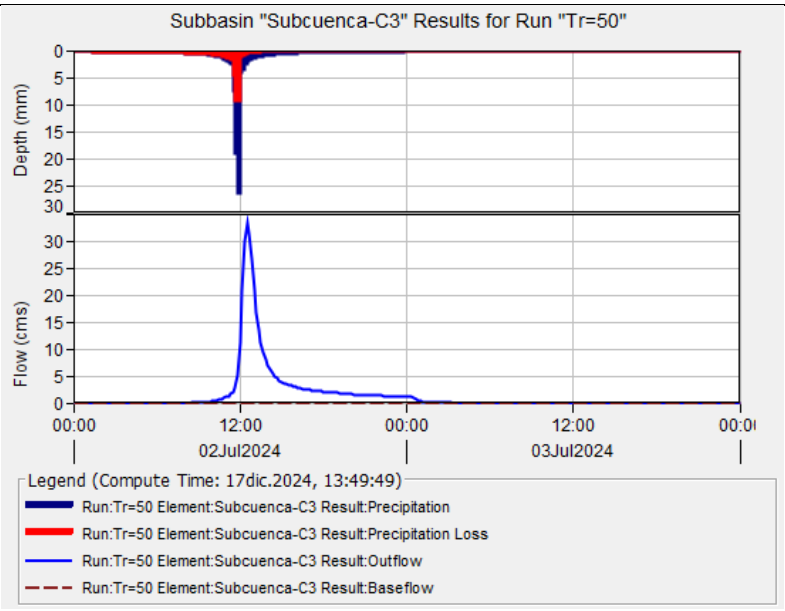
Subcuenca 04	
Subcuenca 05	

Subcuenca 06	
Subcuenca 07	

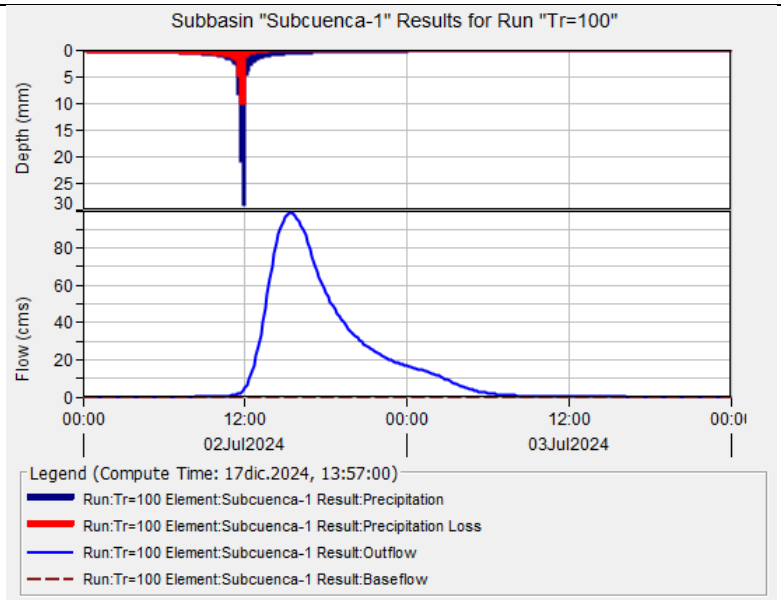
Subcuenca 08	
Subcuenca 09	

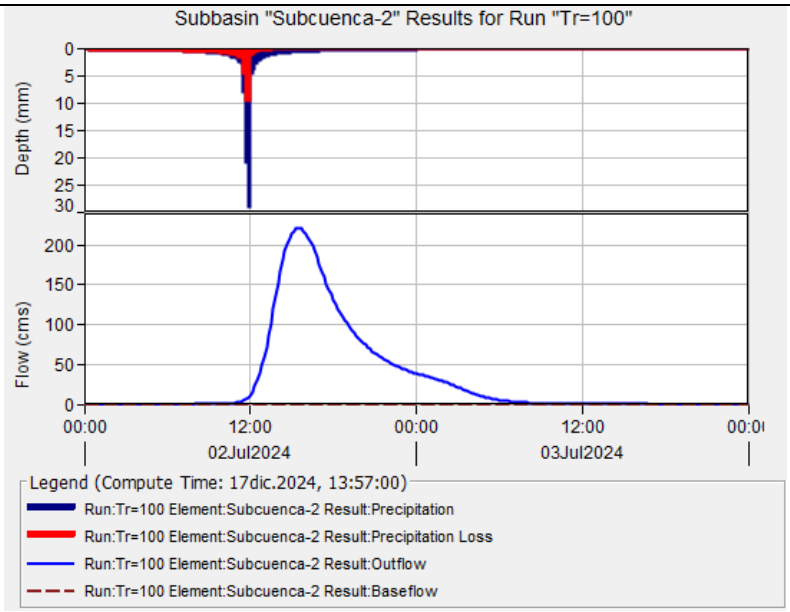
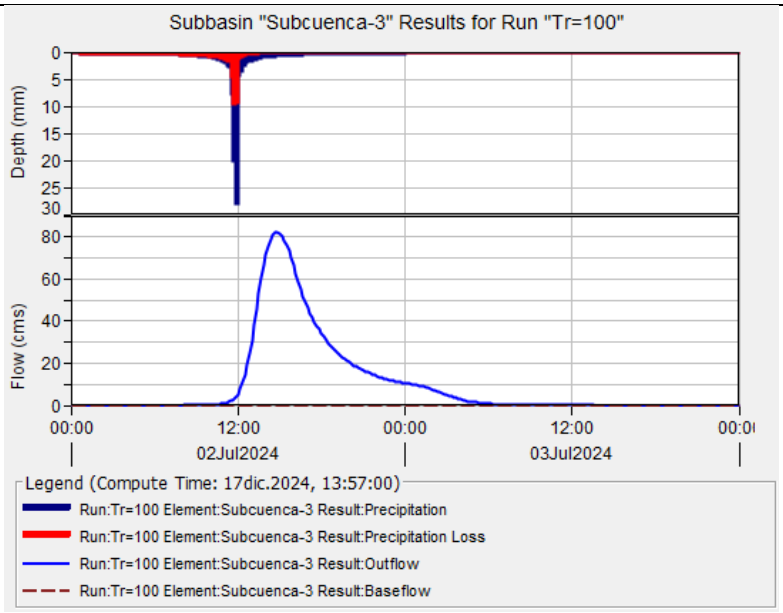
Subcuenca 10	
Subcuenca 11	

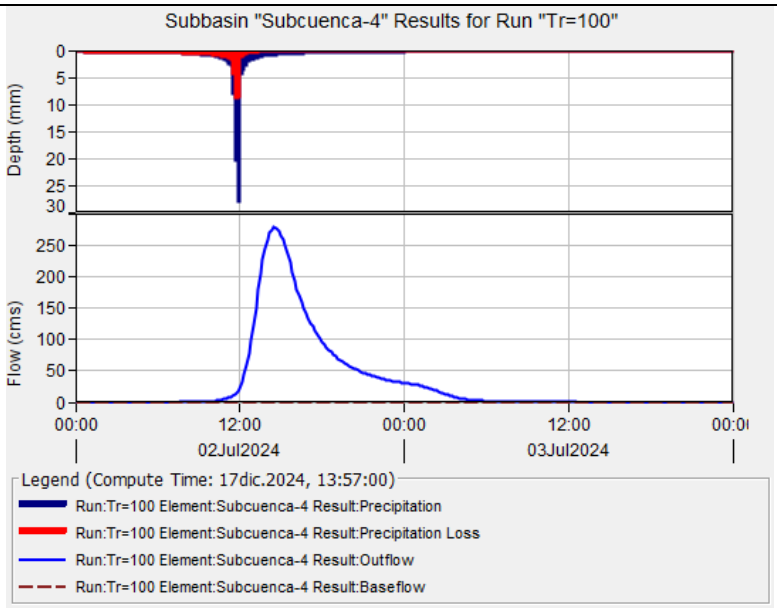
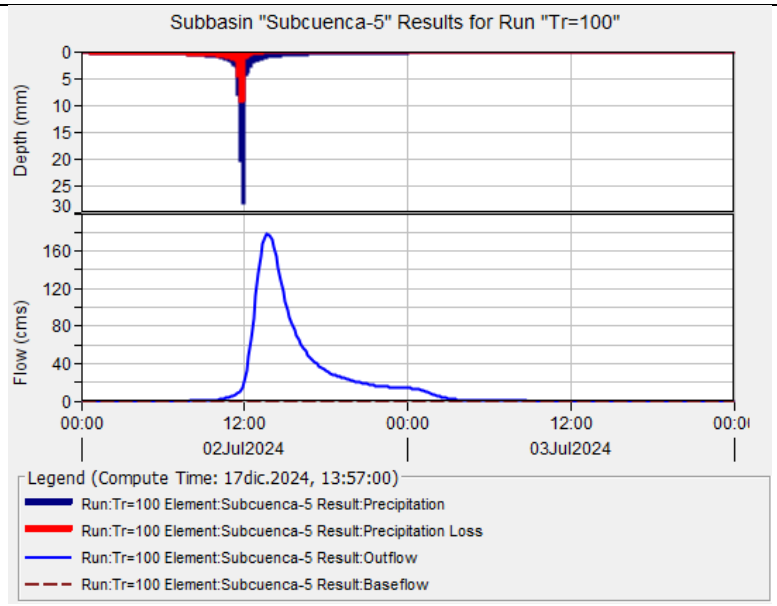
Subcuenca 12	
Subcuenca C1	

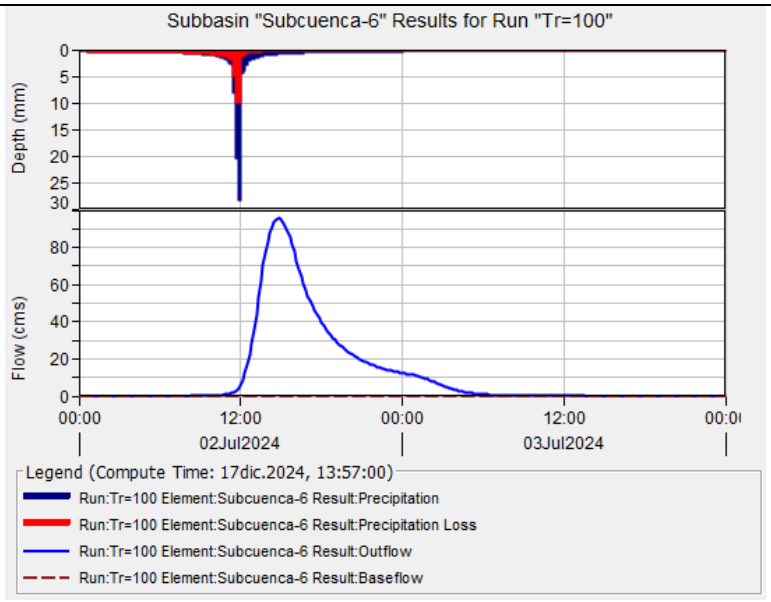
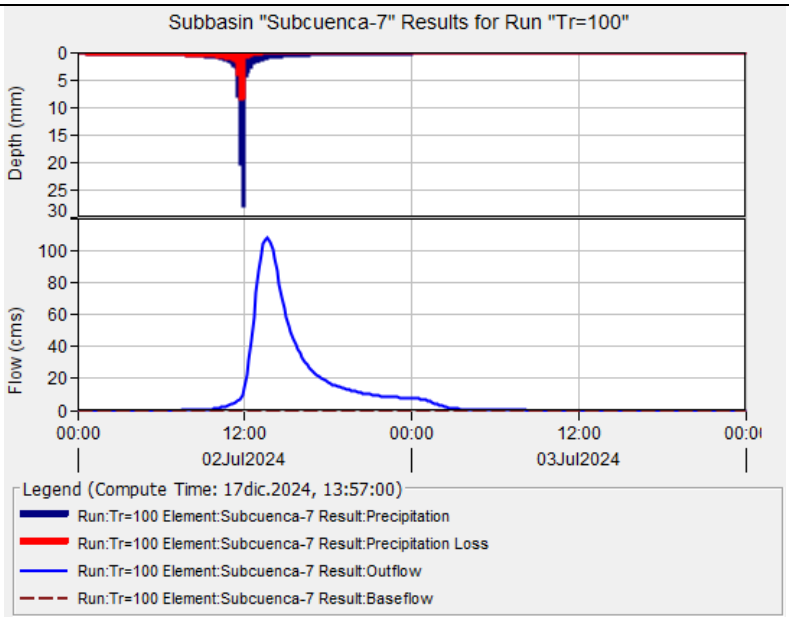
Subcuenca C2	
Subcuenca C3	

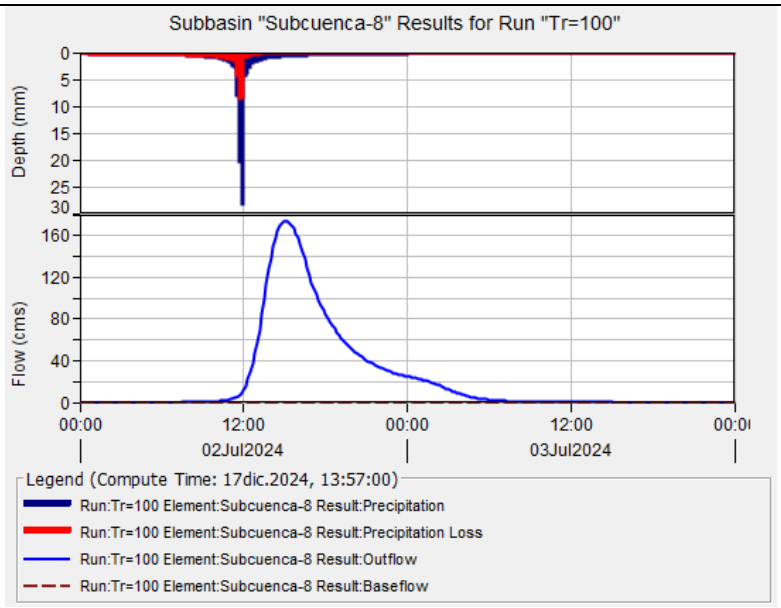
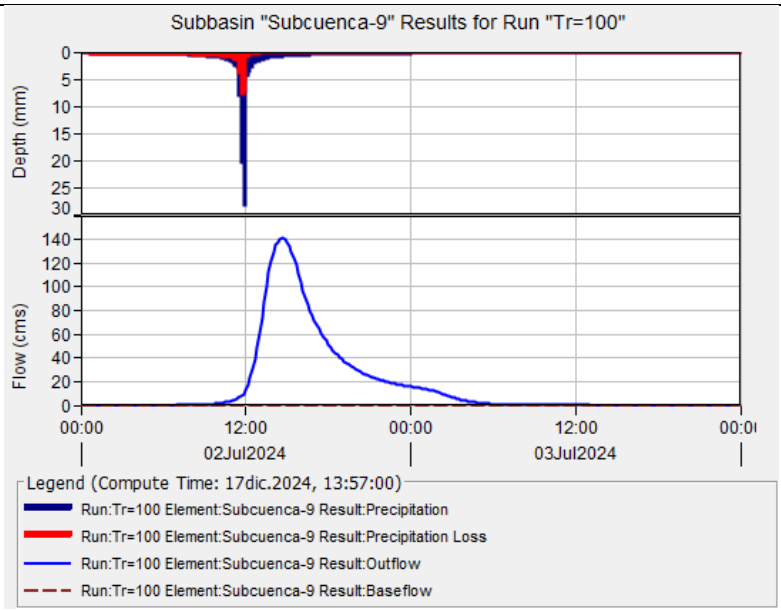
- **Resultados TR=100 AÑOS**

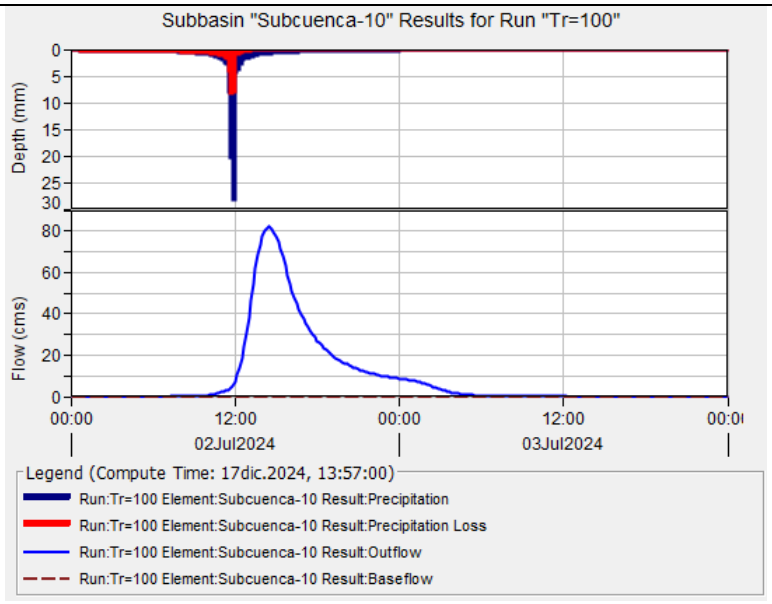
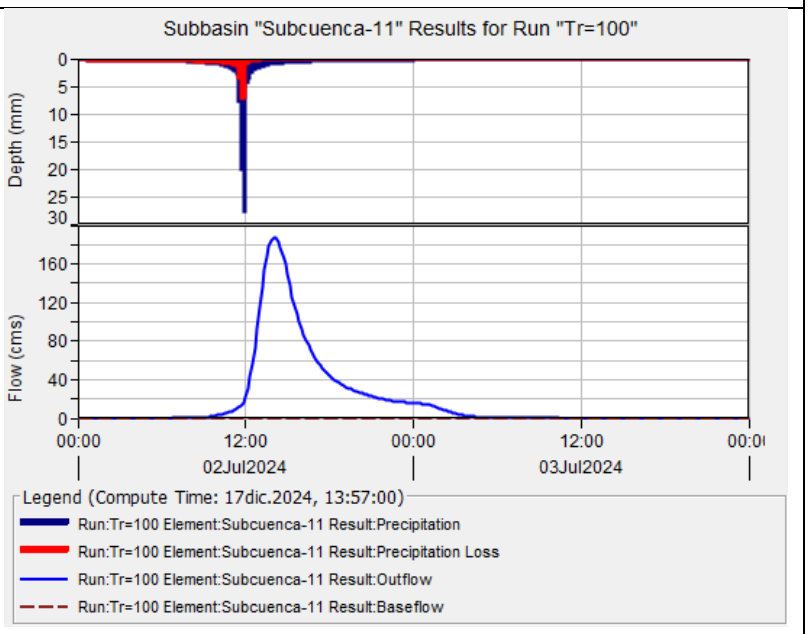
Subcuenca 01	

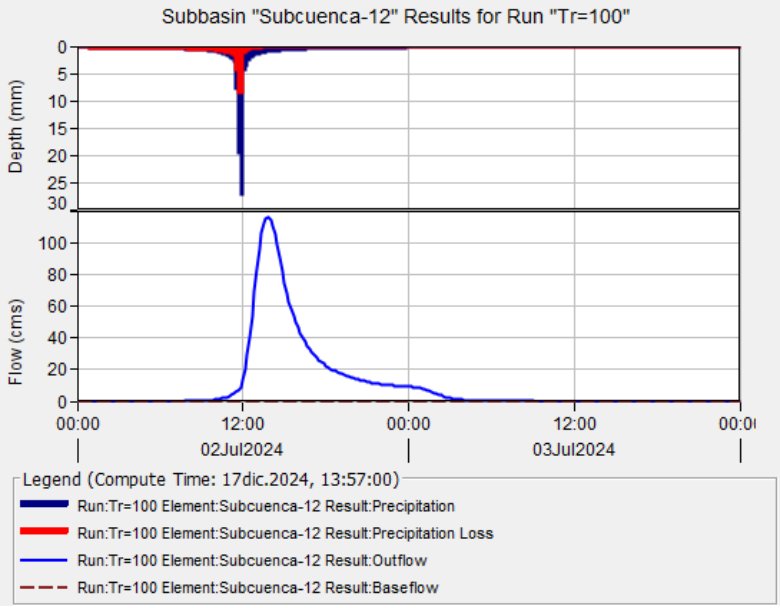
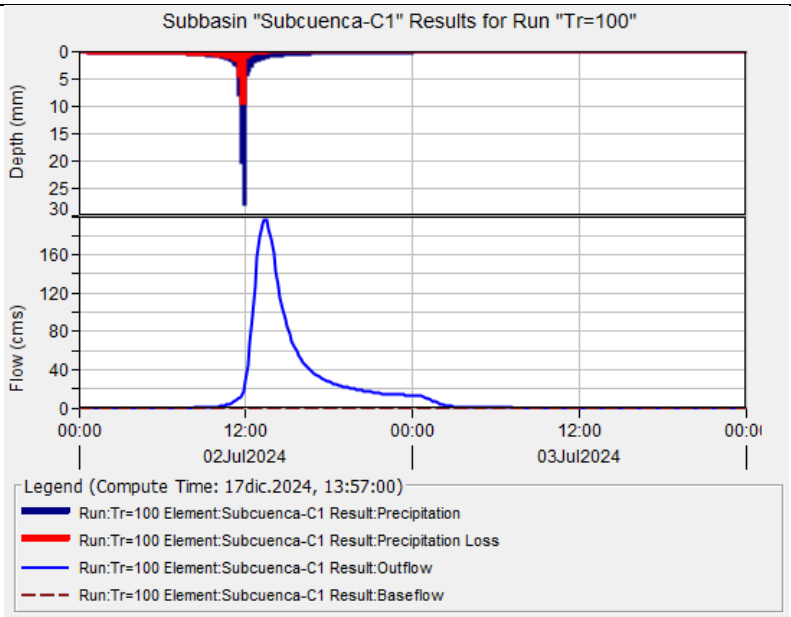
Subcuenca 02	
Subcuenca 03	

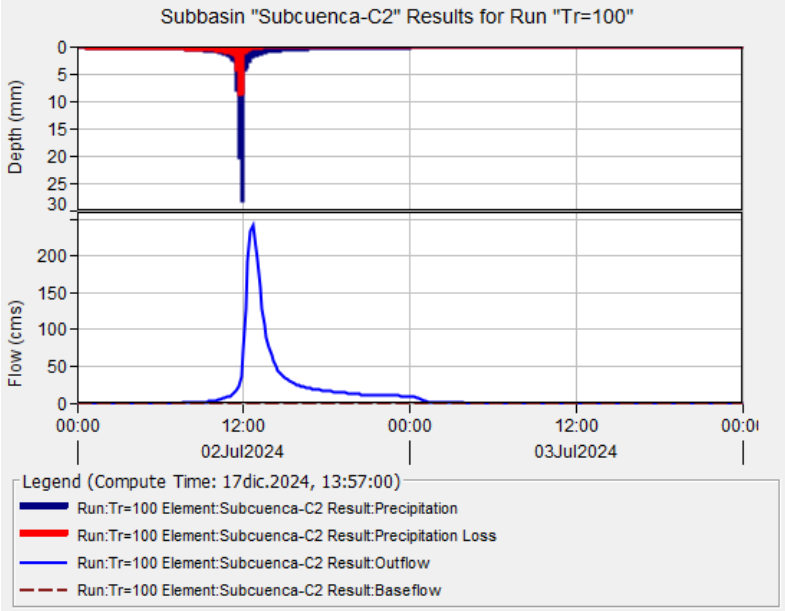
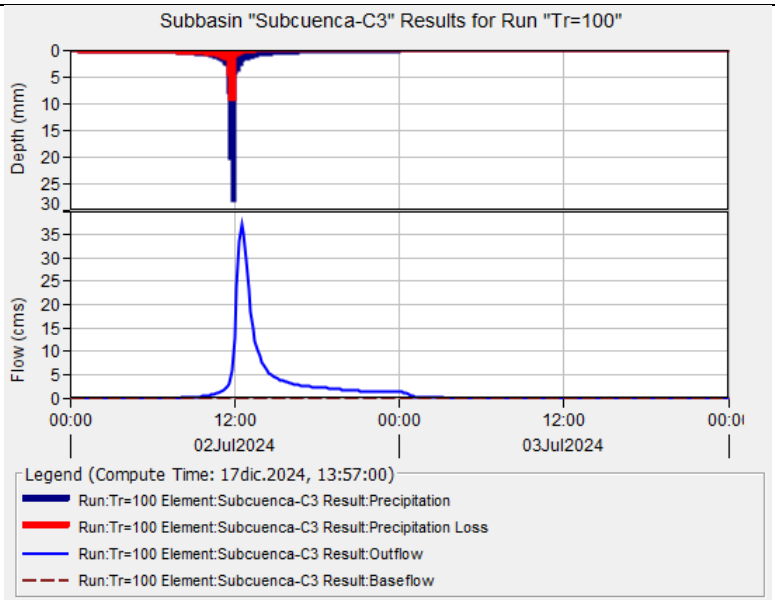
Subcuenca 04	
Subcuenca 05	

Subcuenca 06	
Subcuenca 07	

Subcuenca 08	
Subcuenca 09	

Subcuenca 10	
Subcuenca 11	

Subcuenca 12	
Subcuenca C1	

Subcuenca C2	
Subcuenca C3	

15.2 Resultados de laboratorio de clasificación de muestras del lecho

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

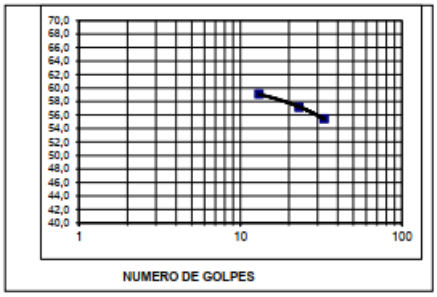
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	FECHA
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLOGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR — DESCRIPCIÓN: ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD NEGRA	LAB
ABSCISA:	N/A — SONDEO No: P1 — MUESTRA No: N/A — PROF. (m): N/A	TT

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LIQUIDO			
No Golpes	13	23	33
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos	51,78	43,51	50,23
P2 gramos	40,63	37,12	40,44
P3 gramos	21,78	25,94	22,78
% Humedad	59,11	57,16	55,45

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos	17,64	24,75	
P2 gramos	15,50	22,90	
P3 gramos	8,32	16,70	
% Humedad	29,81	29,84	



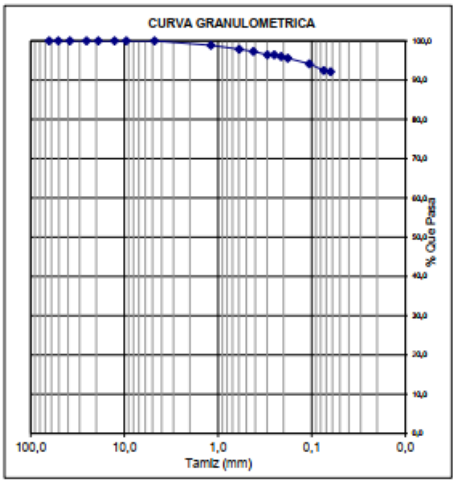
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	402,00
P2 gramos	240,80
P3 gramos	170,80
% Humedad	230,3

RESULTADOS					
Humedad Natural:	230,3	%	Gravas:	0,0	%
Límite Líquido:	57	%	Arenas:	7,6	%
Limite Plástico:	30	%	Finos:	92,4	%
Índice de Plasticidad:	27	%			

CLASIFICACION	
Indice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-7-5
U.S.C.S.:	CH

GRADACIÓN

P1 gramos =		70,0	P2 gramos =		5,5	NORMA	
TAMIZ		W Reten	% Reten	%Ret Acum	% Pasa		
Pulg.	mm					Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 16	1,19	0,8	1,1	1,1	98,9		
# 30	0,595	0,7	1,0	2,1	97,9		
# 40	0,420	0,4	0,6	2,7	97,3		
# 50	0,297	0,6	0,9	3,6	96,4		
# 60	0,250	0,0	0,0	3,6	96,4		
# 70	0,212	0,3	0,4	4,0	96,0		
# 80	0,180	0,3	0,4	4,4	95,6		
# 140	0,106	1,0	1,4	5,9	94,1		
# 200	0,074	1,2	1,7	7,6	92,4		
# 230	0,063	0,2	0,3	7,9	92,1		
FONDO		64,5	92,1	100,0	0,0		
		70,0					



OBSERVACIONES D10: N/A D16: N/A D50: N/A D84: N/A D90: N/A

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

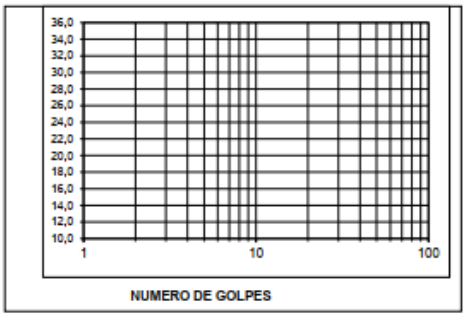
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN: DPTO ATLANTICO-BOLIVAR	**DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	**LAB**
ABSCISA: N/A	**SONDEO No:** P2 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LIQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



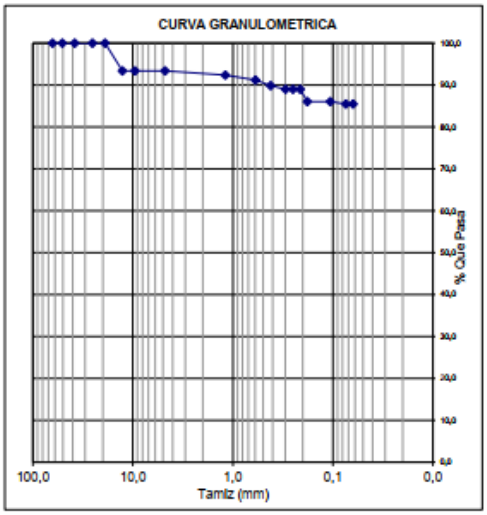
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	400,00
P2 gramos	161,90
P3 gramos	93,80
% Humedad	349,6

RESULTADOS			
Humedad Natural:	349,6 %	Gravas:	6,6 %
Límite Líquido:	NL %	Arenas:	7,9 %
Limite Plástico:	NP %	Finos:	85,5 %
Índice de Plasticidad:	0 %		

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		68,1	P2 gramos =		9,9	NORMA	
TAMIZ		W	%	%Ret	% Pasa		
Pulg.	mm	Reten	Reten	Acum		Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	4,5	6,6	6,6	93,4		
3/8"	9,51	0,0	0,0	6,6	93,4		
# 4	4,76	0,0	0,0	6,6	93,4		
# 16	1,19	0,7	1,0	7,6	92,4		
# 30	0,595	0,8	1,2	8,8	91,2		
# 40	0,420	0,9	1,3	10,1	89,9		
# 50	0,297	0,6	0,9	11,0	89,0		
# 60	0,250	0,0	0,0	11,0	89,0		
# 70	0,212	0,0	0,0	11,0	89,0		
# 80	0,180	2,0	2,9	14,0	86,0		
# 140	0,106	0,0	0,0	14,0	86,0		
# 200	0,074	0,4	0,6	14,5	85,5		
# 230	0,063	0,0	0,0	14,5	85,5		
FONDO		58,2	85,5	100,0	0,0		
		68,1					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** N/A **D90:** 0,44

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icelimtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

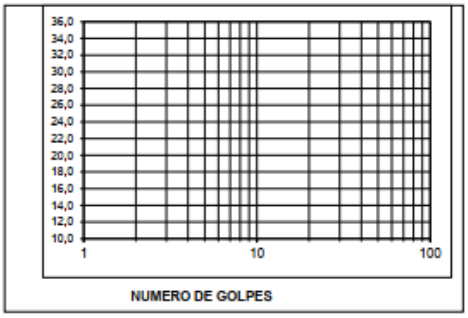
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN: DPTO ATLANTICO-BOLIVAR	**DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	**LAB**
ABSCISA: N/A	**SONDEO No:** P3 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



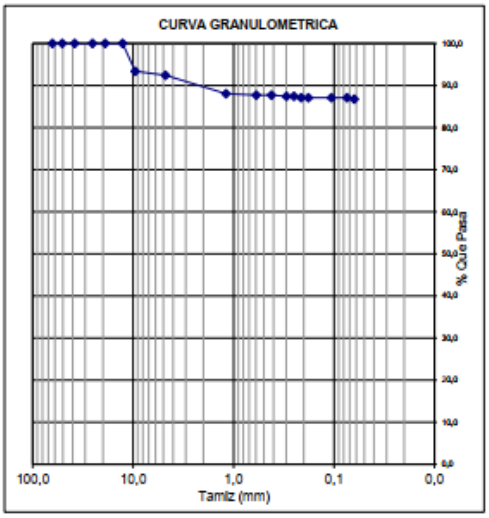
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	436,00
P2 gramos	186,90
P3 gramos	63,00
% Humedad	201,0

RESULTADOS					
Humedad Natural:	201,0	%	Gravas:	7,6	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	5,3	%
Límite Plástico:	NP	%	Finos:	87,1	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Indice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		123,9	P2 gramos =		16,4	NORMA	
TAMIZ		W	%	%Ret	% Pasa		
Pulg.	mm	Reten	Reten	Acum		Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	8,2	6,6	6,6	93,4		
# 4	4,76	1,2	1,0	7,6	92,4		
# 16	1,19	5,4	4,4	11,9	88,1		
# 30	0,595	0,4	0,3	12,3	87,7		
# 40	0,420	0,0	0,0	12,3	87,7		
# 50	0,297	0,4	0,3	12,6	87,4		
# 60	0,250	0,0	0,0	12,6	87,4		
# 70	0,212	0,4	0,3	12,9	87,1		
# 80	0,180	0,0	0,0	12,9	87,1		
# 140	0,106	0,0	0,0	12,9	87,1		
# 200	0,074	0,0	0,0	12,9	87,1		
# 230	0,063	0,4	0,3	13,2	86,8		
FONDO		107,5	86,8	100,0	0,0		
		123,9					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** N/A **D90:** 2,78

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

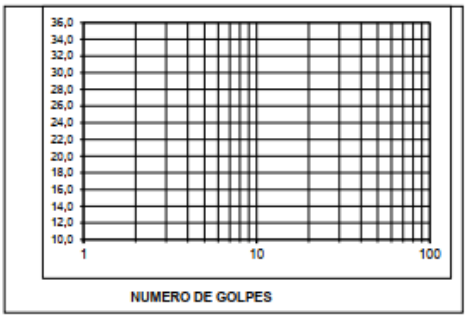
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR **DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	**LAB**
ABSCISA:	N/A **SONDEO No:** P3 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	TT

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



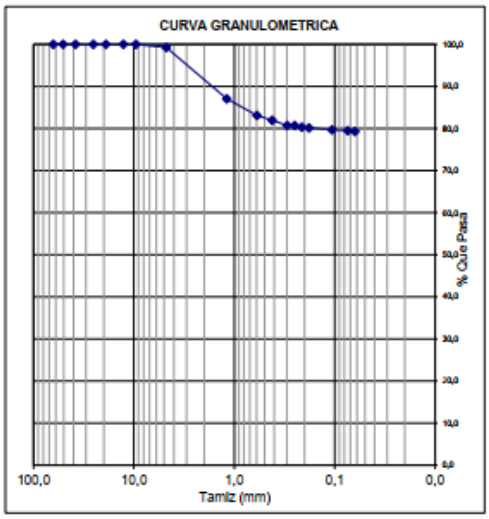
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	367,30
P2 gramos	114,00
P3 gramos	8,80
% Humedad	240,8

RESULTADOS					
Humedad Natural:	240,8	%	Gravas:	0,8	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	19,8	%
Límite Plástico:	NP	%	Finos:	79,5	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		105,2	P2 gramos =		21,8	NORMA	
TAMIZ		W Reten	% Reten	%Ret Acum	% Pasa		
Pulg.	mm					Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	0,8	0,8	0,8	99,2		
# 16	1,19	12,8	12,2	12,9	87,1		
# 30	0,595	4,2	4,0	16,9	83,1		
# 40	0,420	1,2	1,1	18,1	81,9		
# 50	0,297	1,3	1,2	19,3	80,7		
# 60	0,250	0,0	0,0	19,3	80,7		
# 70	0,212	0,4	0,4	19,7	80,3		
# 80	0,180	0,2	0,2	19,9	80,1		
# 140	0,106	0,5	0,5	20,3	79,7		
# 200	0,074	0,2	0,2	20,5	79,5		
# 230	0,063	0,2	0,2	20,7	79,3		
FONDO		83,4	79,3	100,0	0,0		
		105,2					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** 0,73 **D90:** 2,05

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

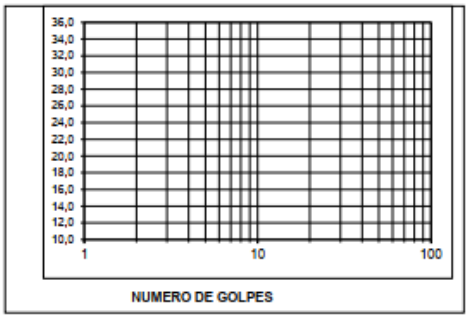
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR **DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	**LAB**
ABSCISA:	N/A **SONDEO No:** P6 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LÍQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



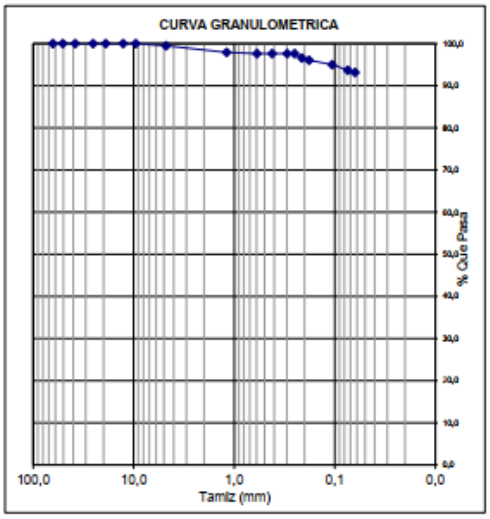
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	306,80
P2 gramos	110,00
P3 gramos	34,10
% Humedad	259,3

RESULTADOS					
Humedad Natural:	259,3	%	Gravas:	0,5	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	5,8	%
Limite Plástico:	NP	%	Finos:	93,7	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		75,9	P2 gramos =		5,2	NORMA	
TAMIZ		W	%	%Ret	% Pasa		
Pulg.	mm	Reten	Reten	Acum		Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	0,4	0,5	0,5	99,5		
# 16	1,19	1,2	1,6	2,1	97,9		
# 30	0,595	0,2	0,3	2,4	97,6		
# 40	0,420	0,0	0,0	2,4	97,6		
# 50	0,297	0,0	0,0	2,4	97,6		
# 60	0,250	0,0	0,0	2,4	97,6		
# 70	0,212	0,8	1,1	3,4	96,6		
# 80	0,180	0,4	0,5	4,0	96,0		
# 140	0,106	0,8	1,1	5,0	95,0		
# 200	0,074	1,0	1,3	6,3	93,7		
# 230	0,063	0,4	0,5	6,9	93,1		
FONDO		70,7	93,1	100,0	0,0		
		75,9					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** N/A **D90:** N/A

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

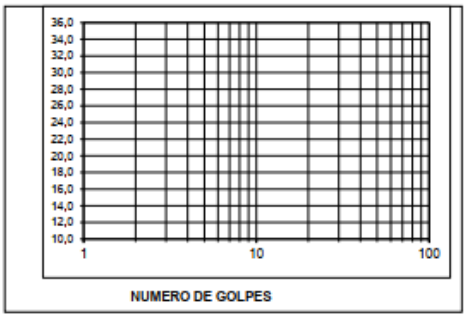
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.		**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE		14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR	**DESCRIPCIÓN:** ARENA MAL GRADADA GRIS	**LAB**
ABSCISA:	N/A	**SONDEO No:** P13 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	TT

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LIQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LIMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



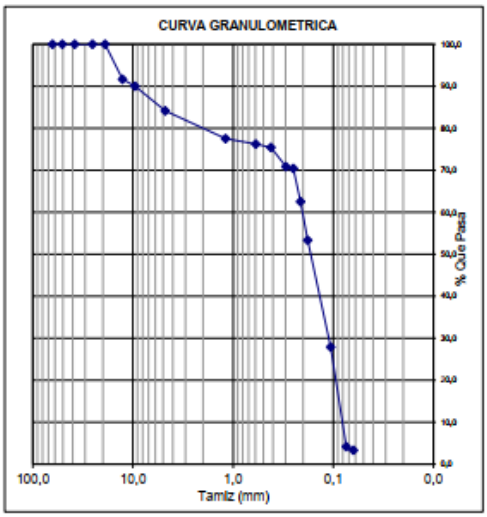
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	529,00
P2 gramos	70,20
P3 gramos	22,20
% Humedad	955,8

RESULTADOS					
Humedad Natural:	955,8	%	Gravas:	15,8	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	80,0	%
Límite Plástico:	NP	%	Finos:	4,2	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-3
U.S.C.S.:	SP

GRADACIÓN

P1 gramos =		48,0	P2 gramos =		46,4	NORMA	
TAMIZ		W Reten	% Reten	%Ret Acum	% Pasa		
Pulg.	mm					Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	4,0	8,3	8,3	91,7		
3/8"	9,51	0,8	1,7	10,0	90,0		
# 4	4,76	2,8	5,8	15,8	84,2		
# 16	1,19	3,2	6,7	22,5	77,5		
# 30	0,595	0,6	1,3	23,8	76,3		
# 40	0,420	0,4	0,8	24,6	75,4		
# 50	0,297	2,2	4,6	29,2	70,8		
# 60	0,250	0,2	0,4	29,6	70,4		
# 70	0,212	3,8	7,9	37,5	62,5		
# 80	0,180	4,4	9,2	46,7	53,3		
# 140	0,106	12,2	25,4	72,1	27,9		
# 200	0,074	11,4	23,8	95,8	4,2		
# 230	0,063	0,4	0,8	96,7	3,3		
FONDO		1,6	3,3	100,0	0,0		
		48,0					



OBSERVACIONES **D10:** 0,08 **D16:** 0,09 **D50:** 0,17 **D84:** 4,67 **D90:** 9,51

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icelimtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

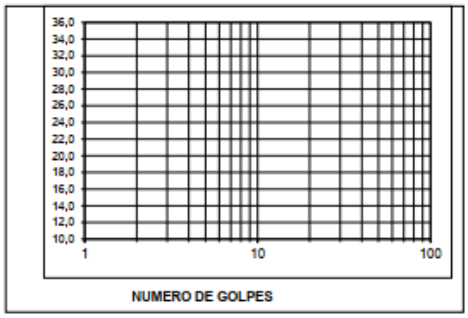
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.		**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE		14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR **DESCRIPCIÓN:**	ARENA LIMOSA GRIS	**LAB**
ABSCISA:	N/A **SONDEO No:** P14 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A		**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LÍQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



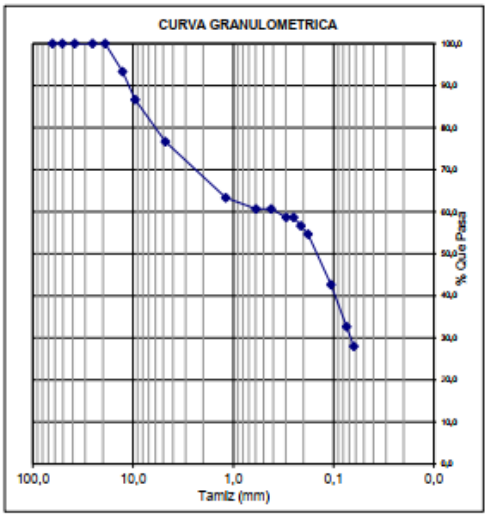
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	495,60
P2 gramos	46,40
P3 gramos	16,40
% Humedad	1497,3

RESULTADOS					
Humedad Natural:	1497,3	%	Gravas:	23,3	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	44,0	%
Limite Plástico:	NP	%	Finos:	32,7	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-2-4
U.S.C.S.:	SM

GRADACIÓN

P1 gramos =		30,0	P2 gramos =		21,6	NORMA	
TAMIZ		W	%	%Ret	% Pasa		
Pulg.	mm	Reten	Reten	Acum		Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	2,0	6,7	6,7	93,3		
3/8"	9,51	2,0	6,7	13,3	86,7		
# 4	4,76	3,0	10,0	23,3	76,7		
# 16	1,19	4,0	13,3	36,7	63,3		
# 30	0,595	0,8	2,7	39,3	60,7		
# 40	0,420	0,0	0,0	39,3	60,7		
# 50	0,297	0,6	2,0	41,3	58,7		
# 60	0,250	0,0	0,0	41,3	58,7		
# 70	0,212	0,6	2,0	43,3	56,7		
# 80	0,180	0,6	2,0	45,3	54,7		
# 140	0,106	3,6	12,0	57,3	42,7		
# 200	0,074	3,0	10,0	67,3	32,7		
# 230	0,063	1,4	4,7	72,0	28,0		
FONDO		8,4	28,0	100,0	0,0		
		30,0					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** 0,15 **D84:** 8,24 **D90:** 11,11

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icelimtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

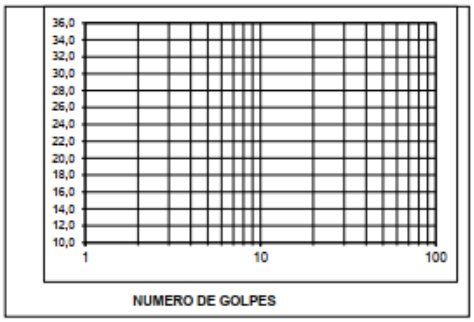
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.		**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE		14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR	**DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD GRIS	**LAB**
ABSCISA:	N/A	**SONDEO No:** P16 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LÍQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



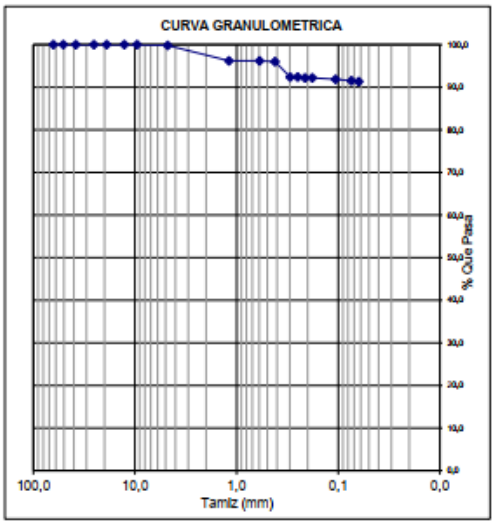
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	445,60
P2 gramos	208,00
P3 gramos	92,40
% Humedad	205,5

RESULTADOS					
Humedad Natural:	205,5	%	Gravas:	0,2	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	8,3	%
Límite Plástico:	NP	%	Finos:	91,5	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		115,6	P2 gramos =		10,0	NORMA	
TAMIZ		W	%	%Ret	% Pasa		
Pulg.	mm	Reten	Reten	Acum		Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	0,2	0,2	0,2	99,8		
# 16	1,19	4,2	3,6	3,8	96,2		
# 30	0,595	0,0	0,0	3,8	96,2		
# 40	0,420	0,2	0,2	4,0	96,0		
# 50	0,297	4,2	3,6	7,6	92,4		
# 60	0,250	0,0	0,0	7,6	92,4		
# 70	0,212	0,2	0,2	7,8	92,2		
# 80	0,180	0,0	0,0	7,8	92,2		
# 140	0,106	0,4	0,3	8,1	91,9		
# 200	0,074	0,4	0,3	8,5	91,5		
# 230	0,063	0,2	0,2	8,7	91,3		
FONDO		105,6	91,3	100,0	0,0		
		115,6					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** N/A **D90:** N/A

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

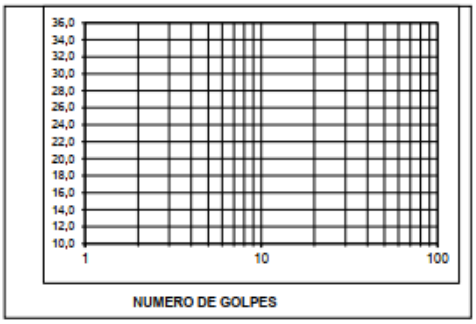
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	FECHA
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN: DPTO ATLANTICO-BOLIVAR	DESCRIPCIÓN: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	LAB
ABSCISA: N/A	SONDEO No: P17 MUESTRA No: N/A PROF. (m): N/A	TT

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LIQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LIMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



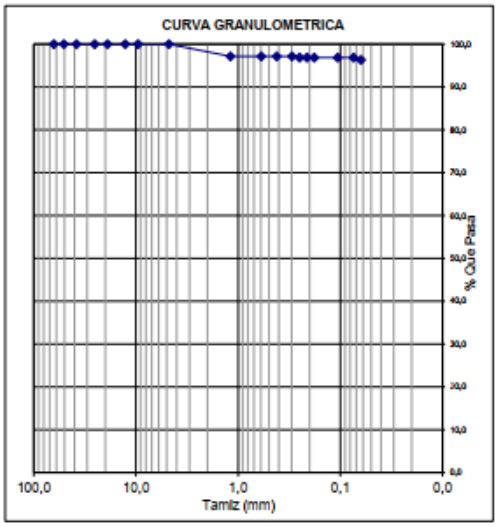
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	345,20
P2 gramos	174,60
P3 gramos	104,00
% Humedad	241,6

RESULTADOS					
Humedad Natural:	241,6	%	Gravas:	0,0	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	3,1	%
Limite Plástico:	NP	%	Finos:	96,9	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		70,6	P2 gramos =		2,6	NORMA	
TAMIZ		W	%	%Ret	% Pasa		
Pulg.	mm	Reten	Reten	Acum		Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 16	1,19	2,0	2,8	2,8	97,2		
# 30	0,595	0,0	0,0	2,8	97,2		
# 40	0,420	0,0	0,0	2,8	97,2		
# 50	0,297	0,0	0,0	2,8	97,2		
# 60	0,250	0,2	0,3	3,1	96,9		
# 70	0,212	0,0	0,0	3,1	96,9		
# 80	0,180	0,0	0,0	3,1	96,9		
# 140	0,106	0,0	0,0	3,1	96,9		
# 200	0,074	0,0	0,0	3,1	96,9		
# 230	0,063	0,4	0,6	3,7	96,3		
FONDO		68,0	96,3	100,0	0,0		
		70,6					



OBSERVACIONES D10: N/A D16: N/A D50: N/A D84: N/A D90: N/A

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

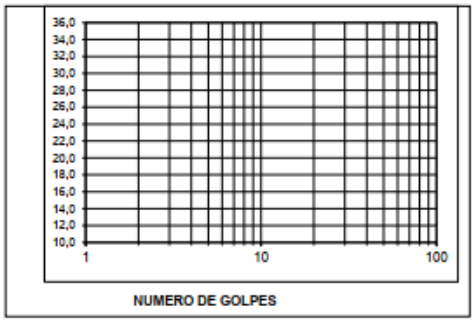
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	FECHA
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR — DESCRIPCIÓN: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	LAB
ABSCISA:	N/A — SONDEO No: P18 — MUESTRA No: N/A — PROF. (m): N/A	TT

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LÍQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



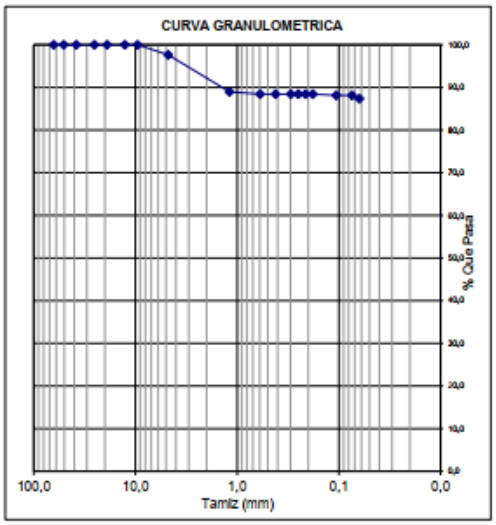
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	423,90
P2 gramos	184,10
P3 gramos	108,10
% Humedad	315,5

RESULTADOS					
Humedad Natural:	315,5	%	Gravas:	2,4	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	9,5	%
Límite Plástico:	NP	%	Finos:	88,2	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		76,0	P2 gramos =		9,6	NORMA	
TAMIZ		W	%	%Ret	% Pasa		
Pulg.	mm	Reten	Reten	Acum		Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	1,8	2,4	2,4	97,6		
# 16	1,19	6,6	8,7	11,1	88,9		
# 30	0,595	0,4	0,5	11,6	88,4		
# 40	0,420	0,0	0,0	11,6	88,4		
# 50	0,297	0,0	0,0	11,6	88,4		
# 60	0,250	0,0	0,0	11,6	88,4		
# 70	0,212	0,0	0,0	11,6	88,4		
# 80	0,180	0,0	0,0	11,6	88,4		
# 140	0,106	0,2	0,3	11,8	88,2		
# 200	0,074	0,0	0,0	11,8	88,2		
# 230	0,063	0,6	0,8	12,6	87,4		
FONDO		66,4	87,4	100,0	0,0		
		76,0					



OBSERVACIONES D10: N/A D16: N/A D50: N/A D84: N/A D90: 1,62

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

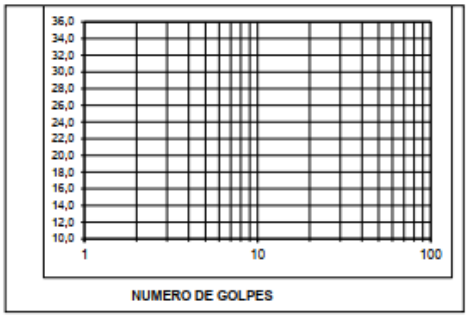
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR **DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	**LAB**
ABSCISA:	N/A **SONDEO No:** P21 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LIQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LIMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



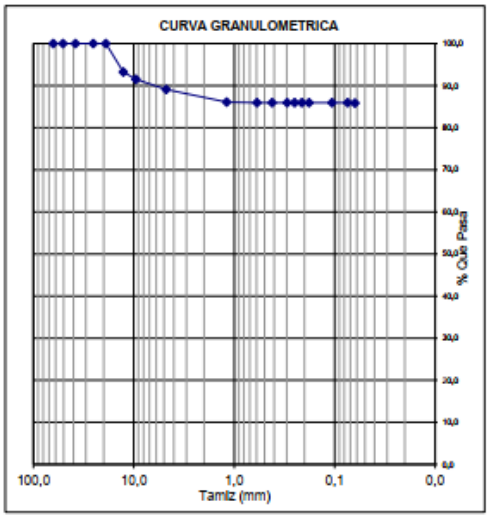
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	700,00
P2 gramos	319,00
P3 gramos	170,80
% Humedad	257,1

RESULTADOS					
Humedad Natural:	257,1	%	Gravas:	10,9	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	3,1	%
Limite Plástico:	NP	%	Finos:	86,0	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACION	
Indice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		148,2	P2 gramos =		21,0	NORMA	
TAMIZ		W Reten	% Reten	%Ret Acum	% Pasa		
Pulg.	mm					Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	10,0	6,7	6,7	93,3		
3/8"	9,51	2,6	1,8	8,5	91,5		
# 4	4,76	3,6	2,4	10,9	89,1		
# 16	1,19	4,4	3,0	13,9	86,1		
# 30	0,595	0,2	0,1	14,0	86,0		
# 40	0,420	0,0	0,0	14,0	86,0		
# 50	0,297	0,0	0,0	14,0	86,0		
# 60	0,250	0,0	0,0	14,0	86,0		
# 70	0,212	0,0	0,0	14,0	86,0		
# 80	0,180	0,0	0,0	14,0	86,0		
# 140	0,106	0,0	0,0	14,0	86,0		
# 200	0,074	0,0	0,0	14,0	86,0		
# 230	0,063	0,2	0,1	14,2	85,8		
FONDO		127,2	85,8	100,0	0,0		
		148,2					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** N/A **D90:** 6,58

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

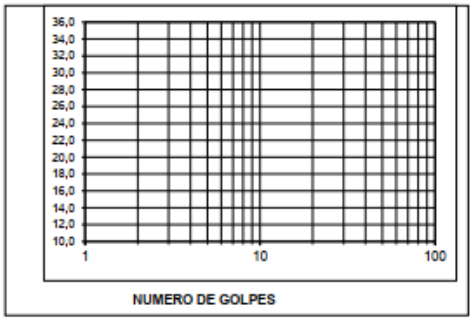
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR **DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	**LAB**
ABSCISA:	N/A **SONDEO No:** P22 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LIQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LIMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



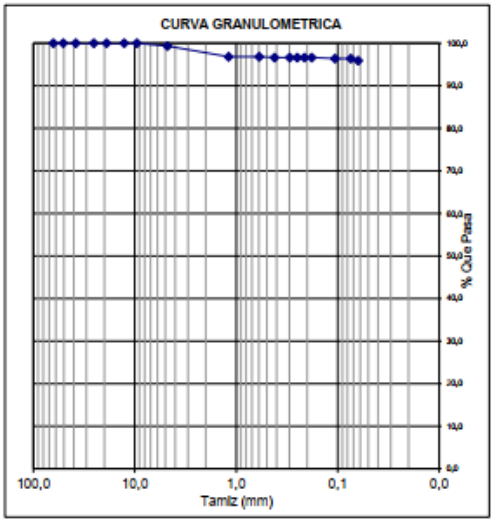
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	465,20
P2 gramos	151,40
P3 gramos	63,00
% Humedad	355,0

RESULTADOS					
Humedad Natural:	355,0	%	Gravas:	0,7	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	2,9	%
Limite Plástico:	NP	%	Finos:	96,4	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Indice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		88,4	P2 gramos =		3,6	NORMA	
TAMIZ		W Reten	% Reten	%Ret Acum	% Pasa		
Pulg.	mm					Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	0,6	0,7	0,7	99,3		
# 16	1,19	2,2	2,5	3,2	96,8		
# 30	0,595	0,0	0,0	3,2	96,8		
# 40	0,420	0,2	0,2	3,4	96,6		
# 50	0,297	0,0	0,0	3,4	96,6		
# 60	0,250	0,0	0,0	3,4	96,6		
# 70	0,212	0,0	0,0	3,4	96,6		
# 80	0,180	0,0	0,0	3,4	96,6		
# 140	0,106	0,2	0,2	3,6	96,4		
# 200	0,074	0,0	0,0	3,6	96,4		
# 230	0,063	0,4	0,5	4,1	95,9		
FONDO		84,8	95,9	100,0	0,0		
		88,4					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** N/A **D90:** N/A

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

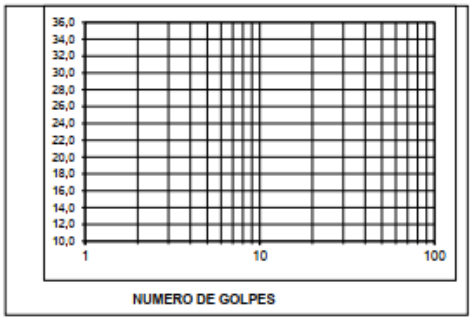
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	FECHA
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN: DPTO ATLANTICO-BOLIVAR	DESCRIPCIÓN: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	LAB
ABSCISA: N/A	SONDEO No: P23 MUESTRA No: N/A PROF. (m): N/A	TT

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LIQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



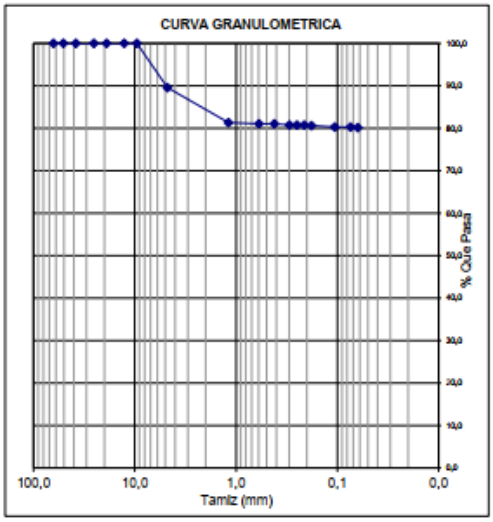
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	475,00
P2 gramos	227,80
P3 gramos	93,80
% Humedad	184,5

RESULTADOS					
Humedad Natural:	184,5	%	Gravas:	10,4	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	9,3	%
Limite Plástico:	NP	%	Finos:	80,3	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		134,0	P2 gramos =		26,6	NORMA	
TAMIZ		W Reten	% Reten	%Ret Acum	% Pasa		
Pulg.	mm					Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	14,0	10,4	10,4	89,6		
# 16	1,19	11,0	8,2	18,7	81,3		
# 30	0,595	0,4	0,3	19,0	81,0		
# 40	0,420	0,0	0,0	19,0	81,0		
# 50	0,297	0,4	0,3	19,3	80,7		
# 60	0,250	0,0	0,0	19,3	80,7		
# 70	0,212	0,0	0,0	19,3	80,7		
# 80	0,180	0,2	0,1	19,4	80,6		
# 140	0,106	0,4	0,3	19,7	80,3		
# 200	0,074	0,0	0,0	19,7	80,3		
# 230	0,063	0,2	0,1	19,9	80,1		
FONDO		107,4	80,1	100,0	0,0		
		134,0					



OBSERVACIONES D10: N/A D16: N/A D50: N/A D84: 2,35 D90: 4,96

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icelimtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

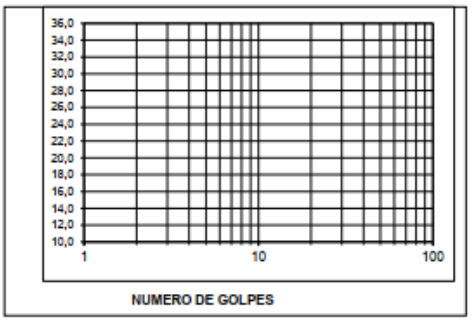
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	FECHA
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR DESCRIPCIÓN: LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	LAB
ABSCISA:	N/A SONDEO No: P24 MUESTRA No: N/A PROF. (m): N/A	TT

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



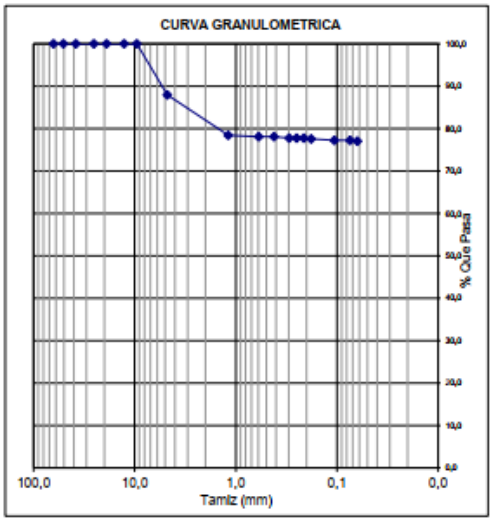
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	458,00
P2 gramos	209,80
P3 gramos	93,80
% Humedad	214,0

RESULTADOS					
Humedad Natural:	214,0	%	Gravas:	12,1	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	10,7	%
Límite Plástico:	NP	%	Finos:	77,2	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Indice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		116,0	P2 gramos =		26,6	NORMA	
TAMIZ		W Reten	% Reten	%Ret Acum	% Pasa		
Pulg.	mm					Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	14,0	12,1	12,1	87,9		
# 16	1,19	11,0	9,5	21,6	78,4		
# 30	0,595	0,4	0,3	21,9	78,1		
# 40	0,420	0,0	0,0	21,9	78,1		
# 50	0,297	0,4	0,3	22,2	77,8		
# 60	0,250	0,0	0,0	22,2	77,8		
# 70	0,212	0,0	0,0	22,2	77,8		
# 80	0,180	0,2	0,2	22,4	77,6		
# 140	0,106	0,4	0,3	22,8	77,2		
# 200	0,074	0,0	0,0	22,8	77,2		
# 230	0,063	0,2	0,2	22,9	77,1		
FONDO		89,4	77,1	100,0	0,0		
		116,0					



OBSERVACIONES D10: N/A D16: N/A D50: N/A D84: 3,28 D90: 5,57

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icelimtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

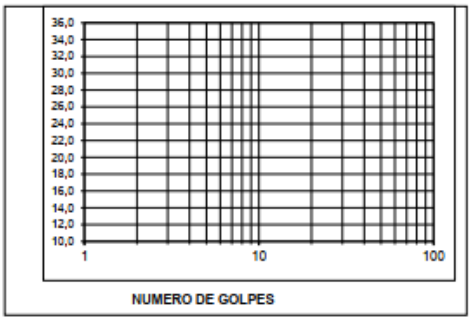
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR **DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	**LAB**
ABSCISA:	N/A **SONDEO No:** P25 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



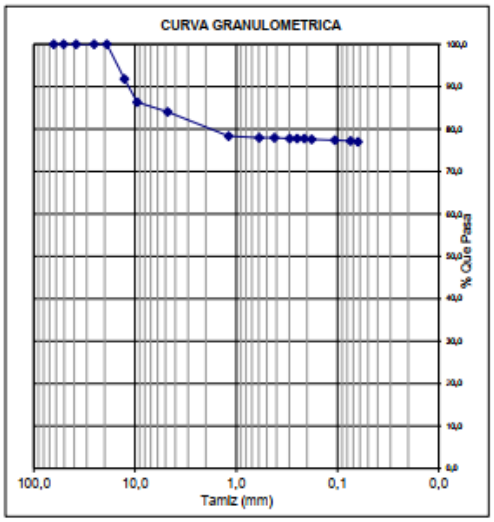
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	580,00
P2 gramos	137,20
P3 gramos	32,00
% Humedad	420,9

RESULTADOS					
Humedad Natural:	420,9	%	Gravas:	16,0	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	6,8	%
Limite Plástico:	NP	%	Finos:	77,2	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Indice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		105,2	P2 gramos =		24,2	NORMA	
TAMIZ		W	%	%Ret	% Pasa		
Pulg.	mm	Reten	Reten	Acum		Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	8,6	8,2	8,2	91,8		
3/8"	9,51	5,8	5,5	13,7	86,3		
# 4	4,76	2,4	2,3	16,0	84,0		
# 16	1,19	6,0	5,7	21,7	78,3		
# 30	0,595	0,4	0,4	22,1	77,9		
# 40	0,420	0,0	0,0	22,1	77,9		
# 50	0,297	0,2	0,2	22,2	77,8		
# 60	0,250	0,0	0,0	22,2	77,8		
# 70	0,212	0,0	0,0	22,2	77,8		
# 80	0,180	0,2	0,2	22,4	77,6		
# 140	0,106	0,2	0,2	22,6	77,4		
# 200	0,074	0,2	0,2	22,8	77,2		
# 230	0,063	0,2	0,2	23,0	77,0		
FONDO		81,0	77,0	100,0	0,0		
		105,2					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** 4,74 **D90:** 11,64

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

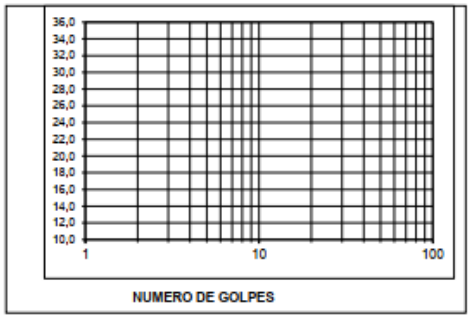
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.	**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE	14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR **DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	**LAB**
ABSCISA:	N/A **SONDEO No:** P26 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



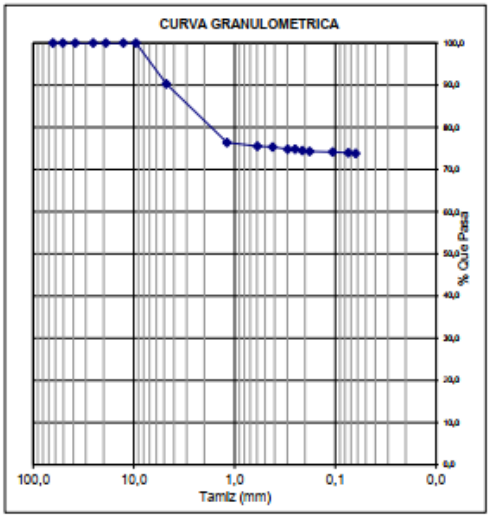
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	437,00
P2 gramos	228,40
P3 gramos	170,80
% Humedad	362,2

RESULTADOS			
Humedad Natural:	362,2 %	Gravas:	9,7 %
Límite Líquido:	NL %	Arenas:	16,3 %
Límite Plástico:	NP %	Finos:	74,0 %
Índice de Plasticidad:	0 %		

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		57,6	P2 gramos =		15,1	NORMA	
TAMIZ		W	%	%Ret	% Pasa		
Pulg.	mm	Reten	Reten	Acum		Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0		
# 4	4,76	5,6	9,7	9,7	90,3		
# 16	1,19	8,0	13,9	23,6	76,4		
# 30	0,595	0,5	0,9	24,5	75,5		
# 40	0,420	0,1	0,2	24,7	75,3		
# 50	0,297	0,3	0,5	25,2	74,8		
# 60	0,250	0,0	0,0	25,2	74,8		
# 70	0,212	0,2	0,3	25,5	74,5		
# 80	0,180	0,1	0,2	25,7	74,3		
# 140	0,106	0,1	0,2	25,9	74,1		
# 200	0,074	0,1	0,2	26,0	74,0		
# 230	0,063	0,1	0,2	26,2	73,8		
FONDO		42,5	73,8	100,0	0,0		
		57,6					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** 3,15 **D90:** 4,69

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icellmtada.lab@gmail.com

ICE INGENIEROS CIVILES ESPECIALISTAS

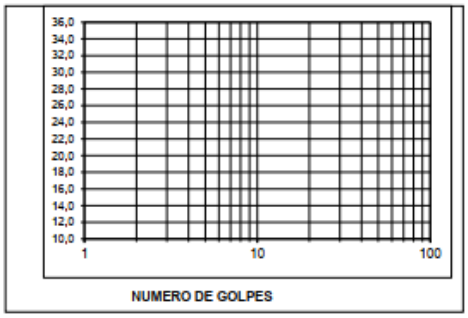
ENSAYO DE CLASIFICACION
LIMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACION
I.N.V. E-122-13, E-123-13, E-125-13, E-126-13

EMPRESA:	SISCO INGENIEROS CONSULTORES Y CONSTRUCTORES S.A.S.		**FECHA**
OBRA:	ESTUDIO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA TOTUMO EN EL MARCO DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LOS CUERPOS DE AGUA ASOCIADOS A LA CUENCA DE LOS ARROYOS DIRECTOS AL MAR CARIBE		14-nov-24
LOCALIZACIÓN:	DPTO ATLANTICO-BOLIVAR	**DESCRIPCIÓN:** LIMO DE BAJA COMPRESIBILIDAD NEGRO	**LAB**
ABSCISA:	N/A	**SONDEO No:** P27 **MUESTRA No:** N/A **PROF. (m):** N/A	**TT**

LIMITES DE CONSISTENCIA

LIMITE LIQUIDO			
No Golpes			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			

LÍMITE PLÁSTICO			
Vaso No.	1	2	3
P1 gramos			
P2 gramos			
P3 gramos			
% Humedad			



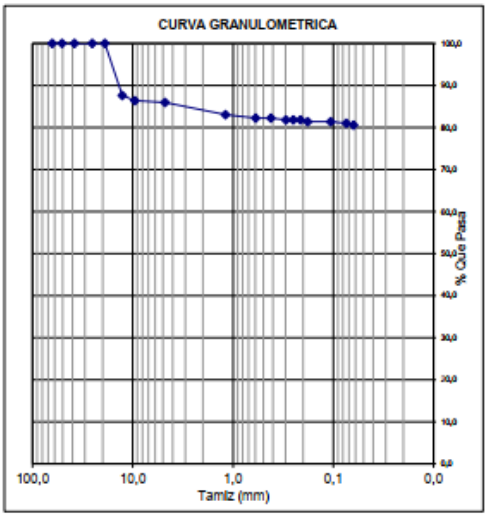
HUMEDAD NATURAL	
P1 gramos	311,40
P2 gramos	116,30
P3 gramos	92,10
% Humedad	806,2

RESULTADOS					
Humedad Natural:	806,2	%	Gravas:	14,0	%
Límite Líquido:	NL	%	Arenas:	5,0	%
Límite Plástico:	NP	%	Finos:	81,0	%
Índice de Plasticidad:	0	%			

CLASIFICACIÓN	
Índice de Grupo:	0
A.A.S.H.T.O.:	A-4
U.S.C.S.:	ML

GRADACIÓN

P1 gramos =		24,2	P2 gramos =		4,7	NORMA	
TAMIZ		W Reten	% Reten	%Ret Acum	% Pasa		
Pulg.	mm					Inf.	Sup.
2 1/2"	63,5	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0		
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,7	3,0	12,4	12,4	87,6		
3/8"	9,51	0,3	1,2	13,6	86,4		
# 4	4,76	0,1	0,4	14,0	86,0		
# 16	1,19	0,7	2,9	16,9	83,1		
# 30	0,595	0,2	0,8	17,8	82,2		
# 40	0,420	0,0	0,0	17,8	82,2		
# 50	0,297	0,1	0,4	18,2	81,8		
# 60	0,250	0,0	0,0	18,2	81,8		
# 70	0,212	0,0	0,0	18,2	81,8		
# 80	0,180	0,1	0,4	18,6	81,4		
# 140	0,106	0,0	0,0	18,6	81,4		
# 200	0,074	0,1	0,4	19,0	81,0		
# 230	0,063	0,1	0,4	19,4	80,6		
FONDO		19,5	80,6	100,0	0,0		
		24,2					



OBSERVACIONES **D10:** N/A **D16:** N/A **D50:** N/A **D84:** 2,35 **D90:** 13,92

MUESTRA CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

Carrera 44 No 82-145. Tel: 3735498-3735499. Barranquilla. Colombia.
E-mail: icelimtada.lab@gmail.com