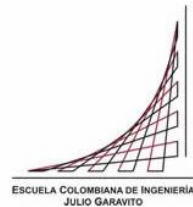


Maestría en Ingeniería Civil

**Transporte de Sedimentos Aguas Abajo de la Implantación de
Estructuras en el Lecho de un Río. Nuevo Puente Pumarejo,
Barranquilla – Colombia**

Andrés Calderón Colorado

Bogotá, D.C., 15 de diciembre de 2021



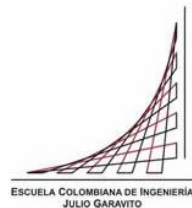
Transporte de Sedimentos Aguas Abajo de la Implantación de Estructuras en el Lecho de un Río. Nuevo Puente Pumarejo, Barranquilla – Colombia

Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente

Germán Monsalve Sáenz

Director

Bogotá, D.C., 15 de diciembre de 2021



La tesis de maestría titulada “Transporte de Sedimentos Aguas Abajo de la Implantación de Estructuras en el Lecho de un Río. Nuevo Puente Pumarejo, Barranquilla - Colombia”, presentada por Andrés Calderón Colorado, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.

Director de la tesis

Germán Monsalve Sáenz

Jurado

Germán Santos Granados

Jurado

Andrés H. Otalora Carmona

Bogotá, D.C., 21 de enero de 2022 (fecha de aceptación del trabajo por parte del jurado)

Dedicatoria

A mi esposa e hijo, quienes depositan toda su confianza en mí, inspirándome a seguir adelante.

Agradecimientos

A la Escuela Colombiana de Ingeniería, por abrirme sus puertas y permitirme desarrollar el tema de investigación en sus instalaciones.

A mi tutor, Germán Monsalve Sáenz, quien no sólo fue mi guía para el desarrollo de este documento, sino que también me ha transmitido su conocimiento en los más de quince años de mi ejercicio profesional.

A mis padres, por inculcarme el deseo de aprender, por enseñarme que las metas se adquieren con esfuerzo y dedicación, y que los problemas hacen parte del proceso.

A mi esposa Luisa y mi hijo Samuel, quienes me acompañaron y ayudaron en el desarrollo de la investigación, brindándome todo su afecto y comprensión.

Resumen

Sobre el año 2016 se inició a la construcción de uno de los megaproyectos del país a nivel de infraestructura, el nuevo puente Pumarejo en la ciudad de Barranquilla, con el cual no solo se conectarían los departamentos de Atlántico y Magdalena, si no también se daría paso al desarrollo de uno de los puertos más trascendentales del país y el plan de convertir en navegable gran parte del río grande de la Magdalena.

Sin embargo, una vez adelantadas las obras de cimentación del puente se menciona que la operación de las terminales portuarias que se encuentran aguas abajo se ha visto afectada, debido a la posible variación de la dinámica del transporte de sedimentos, que al parecer fue modificada por las obras civiles realizadas para la construcción del puente y por las estructuras colocadas en el interior del lecho.

Por lo tanto, se plantea realizar un modelo computacional hidro sedimentológico de contraste en dos dimensiones, entre el escenario previo a la construcción del nuevo puente Pumarejo y el escenario posterior a la construcción de este, verificando la tendencia del cauce a erosionar y sedimentar y si esta tendencia se vio modificada por la construcción del nuevo puente. Así mismo, determinar la longitud de afectación en comparación con la ubicación de las terminales portuarias.

Encontrando, que la construcción del puente Pumarejo del año 2016 genera una modificación en la dinámica de transporte de sedimentos de manera puntual, tal y como probablemente lo hizo el puente Pumarejo antiguo del año 1974. Por lo tanto, los procesos de sedimentación debidos al cambio de velocidad en el sector del puente, se generan justo aguas abajo de este, razón por la cual, no pueden ser atribuibles las necesidades de dragado de todo el canal navegable a la construcción del puente.

Índice general

Dedicatoria.....	4
Agradecimientos	5
Resumen.....	6
Índice general.....	7
Índice de tablas.....	8
Índice de figuras	9
Índice de anexos.....	13
Introducción	14
Capítulo 1 Planteamiento del Problema, Justificación e Hipótesis.....	16
Capítulo 2 Objetivos.....	19
Capítulo 3 Metodología	21
Capítulo 4 Marco Teórico.....	24
Capítulo 5 Modelación Computacional	58
Capítulo 6 Resultados	125
Capítulo 7 Conclusiones	180
Capítulo 8 Bibliografía	182

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de tamaños comunes de grano.....	29
Tabla 2. Clasificación densidad según mineral	30
Tabla 3. Modelos computacionales reconocidos	50
Tabla 4. Modelos computacionales 1D.....	52
Tabla 5. Modelos computacionales 2D.....	53
Tabla 6. Modelos computacionales 3D.....	54
Tabla 7. Estudios previos realizados zona de estudio	56
Tabla 8. Resumen de información batimétrica disponible	61
Tabla 9. Río Magdalena – K22 a K17. Variación Granulometrías de Lecho noviembre 2004.....	62
Tabla 10. Río Magdalena – K22 a K17. Variación Granulometrías de Lecho enero 2005. 63	
Tabla 11. Río Magdalena – K22 a K17. Variación Granulometrías de Lecho marzo 2005 63	
Tabla 12. Río Magdalena – K22 a K17. Variación Granulometrías de Lecho Promedio....	63
Tabla 13. Coeficiente de rugosidad de Manning estudios previos	81
Tabla 14. Coeficiente de rugosidad de Manning formulaciones empíricas.....	82
Tabla 15. Coeficientes de rugosidad de mejor ajuste según rango de niveles	91
Tabla 16. Condiciones de contorno implementadas en los contornos abiertos	115
Tabla 17. Clasificación de tamaños comunes de grano.....	120
Tabla 18. Porosidad para distintos sedimentos.....	121

Índice de figuras

Figura 1. Metodología. Fuente: Elaboración propia.....	21
Figura 2. Diferenciación propiedades de los sedimentos. Fuente: Elaboración propia	28
Figura 3. Esquema dimensiones triaxiales partícula sedimento. Fuente: (Basile, 2018) ...	31
Figura 4. <i>Curva de distribución Normal de frecuencias del tamaño de muestras sedimentológicas de lecho</i> . Fuente:(Yang, 1996).....	34
Figura 5. Esquema ángulo reposo. Fuente: (Basile, 2018)	36
Figura 6. Variación ángulo de reposo versus diámetro del sedimento. Fuente: (Simons & Sentürk, 1977)	37
Figura 7. Esquema de fuerzas actuando sobre partículas de sedimento. Fuente: (Basile, 2018).....	39
Figura 8. Diagrama de Shields. Fuente: (Basile, 2018)	41
Figura 9. Ubicación estaciones hidrométricas y de niveles. Fuente: Elaboración propia...	59
Figura 10. Curva calibración de transporte de sedimentos en suspensión. Fuente:(Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA, 2007)	64
Figura 11. Levantamientos batimétricos río Magdalena Sector I a IV Fuente: CORMAGDALENA.....	67
Figura 12 Ubicación Terminales Portuarias Fuente: (ASOPORTUARIA, n.d.)	68
Figura 13. Ubicación Estación de Niveles TEBSA Fuente: Elaboración propia	69
Figura 14. Ubicación Limite de Estudio Fuente: Elaboración propia	71
Figura 15. Hidrograma de caudales estación Calamar año 2008 Fuente: Elaboración propia.....	74
Figura 16. Hidrograma de caudales estación Calamar año 2009 Fuente: Elaboración propia.....	75
Figura 17. Hidrograma de caudales estación Calamar año 2010 Fuente: Elaboración propia.....	75
Figura 18. Hidrograma de caudales estación Calamar año 2011 Fuente: Elaboración propia.....	76
Figura 19. Niveles condición frontera aguas abajo modelo año 2008 Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 20. Niveles condición frontera aguas abajo modelo año 2009 Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 21. Niveles condición frontera aguas abajo modelo año 2010 Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 22. Niveles condición frontera aguas abajo modelo año 2011 Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 23. Resultados análisis de sensibilidad coeficiente de Rugosidad de Manning año 2008 Fuente: Elaboración propia.....	84

Figura 24. Resultados análisis de sensibilidad coeficiente de Rugosidad de Manning año 2009 Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 25. Resultados análisis de sensibilidad coeficiente de Rugosidad de Manning año 2010 Fuente: Elaboración propia.....	86
Figura 26. Resultados análisis de sensibilidad coeficiente de Rugosidad de Manning año 2011 Fuente: Elaboración propia.....	87
Figura 27. Resultados prueba de bondad de ajuste rango de niveles de 0.5 a 1.0 m.....	89
Figura 28. Resultados prueba de bondad de ajuste rango de niveles de 1.0 a 1.5 m.....	89
Figura 29. Resultados prueba de bondad de ajuste rango de niveles de 1.5 a 2.0 m.....	90
Figura 30. Resultados prueba de bondad de ajuste rango de niveles de 2.0 a 2.5 m.....	90
Figura 31. Coeficientes de rugosidad de mejor ajuste según rango de niveles.....	91
Figura 32. Relación caudal Calamar vs. nivel TEBSA Fuente: Elaboración propia.....	92
Figura 33. Relación caudal Calamar vs. coeficiente de rugosidad Fuente: Elaboración propia.....	93
Figura 34. Módulos IBER Fuente: (IBER, Manual de Referencia Hidráulico, 2014).....	95
Figura 35. Ecuaciones bidimensionales de conservación de la masa y momento.....	96
Figura 36. Interrelación entre módulo hidrodinámico y de transporte de sedimentos.....	97
Figura 37. Ecuaciones de conservación del sedimento de Exner Fuente:(Bladé et al., 2014).....	97
Figura 38. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena K18 febrero 2010 Fuente: Elaboración propia.....	100
Figura 39. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena junio 2011 K18 Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 40. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena agosto 2012 K18 Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 41. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena enero 2013 K18 Fuente: Elaboración propia.....	103
Figura 42. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena enero 2014 K18 Fuente: Elaboración propia.....	104
Figura 43. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena enero 2015 K18 Fuente: Elaboración propia.....	105
Figura 44. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena marzo 2016 K18 Fuente: Elaboración propia.....	106
Figura 45. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena diciembre 2017 K18 Fuente: Elaboración propia.....	107
Figura 46. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena mayo 2018 K18 Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura 47. Batimetría modelo sedimentológico agosto 2017 Fuente: Elaboración propia	110
Figura 48. Corte pilas principales y secundarias Puente Pumarejo año 1974 Fuente: (Morandi, 1970).....	111

Figura 49. Corte pilas principales y secundarias Puente Pumarejo año 2016 Fuente:(Manterola, 2013).....	112
Figura 50. Sección típica pila en agua Puente Pumarejo año 2016 Fuente:(Manterola, 2013).....	113
Figura 51. Fotografía panorámica puente Pumarejo Antiguo Fuente:(Redacción El Tiempo, 2014).....	114
Figura 52. Fotografía panorámica nuevo puente Pumarejo Fuente: (SACYR Colombia, 2019).....	114
Figura 53. Relación nivel contorno modelo vs. caudal Calamar Fuente: Elaboración propia	117
Figura 54. Separación puntos levantamiento batimétrico Fuente: Elaboración propia.....	123
Figura 55. Mallado modelo escenario 1 puente Pumarejo 1974 Fuente: Elaboración propia	124
Figura 56. Mallado modelo escenario 2 ambos puentes Fuente: Elaboración propia.....	124
Figura 57. Resultados velocidad Escenario 1 Fuente: Elaboración propia.....	126
Figura 58. Resultados velocidad Escenario 2 Fuente: Elaboración propia.....	127
Figura 59. Resultados erosión rango 0.05 – 0.40 m Escenario 1 Fuente: Elaboración propia.....	129
Figura 60. Resultados erosión rango 0.05 – 0.40 m Escenario 2 Fuente: Elaboración propia.....	130
Figura 61. Resultados sedimentación rango -0.01 – -0.30 m Escenario 1 Fuente: Elaboración propia.....	131
Figura 62. Resultados sedimentación rango -0.01 – -0.30 m Escenario 2 Fuente: Elaboración propia.....	132
Figura 63. Comparación secciones K20+700 Zona Franca y SPRB Fuente: Elaboración propia.....	133
Figura 64. Comparación secciones K19+500 Atlantic Coal Fuente: Elaboración propia..	134
Figura 65. Comparación secciones K18+700 Sociedad Portuaria del Norte Fuente: Elaboración propia.....	134
Figura 66. Comparación secciones K17+200 RIVERPORT Fuente: Elaboración propia.	135
Figura 67. Modelo batimétrico enero y febrero 2006 Fuente: Elaboración propia.....	137
Figura 68. Modelo batimétrico abril y mayo 2006 Fuente: Elaboración propia.....	138
Figura 69. Modelo batimétrico junio y julio 2006 Fuente: Elaboración propia.....	139
Figura 70. Modelo batimétrico agosto y septiembre 2006 Fuente: Elaboración propia....	140
Figura 71. Modelo batimétrico octubre y noviembre 2006 Fuente: Elaboración propia....	141
Figura 72. Modelo batimétrico febrero y marzo 2008 Fuente: Elaboración propia.....	142
Figura 73. Modelo batimétrico abril y mayo 2008 Fuente: Elaboración propia.....	143
Figura 74. Modelo batimétrico junio y julio 2008 Fuente: Elaboración propia.....	144
Figura 75. Modelo batimétrico agosto y septiembre 2006 Fuente: Elaboración propia....	145
Figura 76. Modelo batimétrico octubre y noviembre 2008 Fuente: Elaboración propia....	146

Figura 77. Modelo batimétrico diciembre 2008 y enero 2009 Fuente: Elaboración propia	147
Figura 78. Modelo batimétrico febrero y marzo 2009 Fuente: Elaboración propia	148
Figura 79. Modelo batimétrico abril 2009 y enero 2010 Fuente: Elaboración propia	149
Figura 80. Modelo batimétrico abril y mayo 2010 Fuente: Elaboración propia	150
Figura 81. Modelo batimétrico junio y julio 2010 Fuente: Elaboración propia	151
Figura 82. Modelo batimétrico agosto y septiembre 2010 Fuente: Elaboración propia	152
Figura 83. Modelo batimétrico octubre y noviembre 2010 Fuente: Elaboración propia....	153
Figura 84. Modelo batimétrico diciembre 2010 y junio 2011 Fuente: Elaboración propia	154
Figura 85. Modelo batimétrico julio y agosto 2011 Fuente: Elaboración propia.....	155
Figura 86. Modelo batimétrico septiembre y octubre 2011 Fuente: Elaboración propia...	156
Figura 87. Modelo batimétrico noviembre y diciembre 2011 Fuente: Elaboración propia	157
Figura 88. Modelo batimétrico enero y febrero 2012 Fuente: Elaboración propia.....	158
Figura 89. Modelo batimétrico marzo y abril de 2012 Fuente: Elaboración propia.....	159
Figura 90. Modelo batimétrico mayo y junio 2012 Fuente: Elaboración propia.....	160
Figura 91. Modelo batimétrico julio 2012 y agosto 2014 Fuente: Elaboración propia.....	161
Figura 92. Modelo batimétrico enero y febrero 2015 Fuente: Elaboración propia.....	162
Figura 93. Modelo batimétrico marzo y abril 2015 Fuente: Elaboración propia	163
Figura 94. Modelo batimétrico mayo y julio 2015 Fuente: Elaboración propia	164
Figura 95. Modelo batimétrico agosto y noviembre 2015 Fuente: Elaboración propia	165
Figura 96. Modelo batimétrico enero y marzo 2016 Fuente: Elaboración propia	166
Figura 97. Modelo batimétrico abril y mayo 2016 Fuente: Elaboración propia	167
Figura 98. Modelo batimétrico junio y julio 2016 Fuente: Elaboración propia	168
Figura 99. Modelo batimétrico agosto y septiembre 2016 Fuente: Elaboración propia	169
Figura 100. Modelo batimétrico octubre 2016 y enero 2017 Fuente: Elaboración propia	170
Figura 101. Modelo batimétrico marzo y junio 2017 Fuente: Elaboración propia.....	171
Figura 102. Modelo batimétrico agosto 2017 Fuente: Elaboración propia.....	172
Figura 103. Puntos de análisis multitemporal de cota de fondo Fuente: Elaboración propia	173
Figura 104. Análisis multitemporal de cotas de fondo sector K20+700 Zona Franca y SPRB Fuente: Elaboración propia.....	174
Figura 105. Análisis multitemporal de cotas de fondo sector K19+500 Atlantic Coal Fuente: Elaboración propia	175
Figura 106. Análisis multitemporal de cotas de fondo sector K18+700 Sociedad Portuaria del Norte Fuente: Elaboración propia.....	176
Figura 107. Análisis multitemporal de cotas de fondo sector K17+200 RIVERPORT Fuente: Elaboración propia.....	177

Índice de anexos

Anexo 1. Información Hidrométrica y Niveles

Anexo 2. Información Batimétrica (archivo magnético)

Anexo 3. Modelos Hidráulicos HEC RAS (archivo magnético)

Anexo 4. Pruebas Chi Cuadrado χ^2 Calibración n (archivo magnético)

Anexo 5. Modelo IBER 2D Escenario 1 Puente Antiguo

Anexo 6. Modelo IBER 2D Escenario 2 Ambos Puentes

Introducción

El transporte de sedimentos siempre ha sido un desafío para la humanidad desde tiempos inmemorables, siempre ha existido una relación entre el hombre y los ríos que data más allá del inicio de la civilización. Nuestros ríos han afectado significativamente el desarrollo del hombre, las civilizaciones más antiguas se desarrollaron a lo largo de los ríos, en sus valles.

La historia de China, por ejemplo, ha estado marcada por desastres e inundaciones, es así como arqueólogos han podido identificar obras hidráulicas como presas, canales y diques de tiempos que datan aproximadamente de 4000 años A.C. Muchos años más adelante, con base en el desarrollo de la investigación y la matemática, el análisis del transporte de sedimentos pasó de ser un análisis empírico para tener un enfoque racional, desarrollando así toda la teoría de transporte de sedimentos que hoy conocemos.

Con la riqueza fluvial de nuestro país, no somos ajenos a esta problemática, más aún cuando contamos con el río Magdalena, el cual ocupa el octavo puesto a nivel mundial, en cuanto a la relación entre el transporte de sedimentos y su caudal medio (Schumm & Winkley, 1994).

Específicamente sobre este cauce se centra el presente trabajo de tesis, ya que sobre el año 2016 se inicia la construcción del nuevo puente Pumarejo en la ciudad de Barranquilla. Esta mega obra de la ingeniería colombiana se convirtió en el foco de atención, ya que, para poder erigirla, se construyeron sobre el cauce dos grandes pilas, que sugerían la modificación del caudal sólido transportado en el sector y la posible afectación por sedimentación sobre las terminales portuarias adyacentes.

Por lo tanto, el presente trabajo de tesis pretende por medio de un modelo computacional hidro-sedimentológico de contraste y el análisis de la información multitemporal de imágenes y batimetrías, determinar de manera objetiva la posible incidencia de la construcción de las pilas en el transporte de sedimentos del río.

El documento cuenta con ocho (8) capítulos, en los cuales se desarrolla el tema de investigación, y los cuales se encuentran divididos de la siguiente manera:

El capítulo 1 presenta el planteamiento del problema, ubicándolo temporal y espacialmente, así mismo incluye la justificación del trabajo y por qué se considera importante el tema de investigación, para finalmente establecer la hipótesis sobre la cual se adelantará la tesis.

El capítulo 2 incluye el objetivo general de la investigación y ahonda en los objetivos específicos que se despliegan del objetivo general. El capítulo 3 presenta de manera sencilla la metodología adoptada para desarrollar los objetivos planteados.

El capítulo 4 contiene una recopilación de información técnica de base, enfocada específicamente en tres temas importantes, teoría del transporte de sedimentos, teoría de modelación matemática de transporte de sedimentos y estudios previos realizados en la zona de estudio, con lo cual se configura el marco teórico sobre el que se desarrolla la investigación.

El capítulo 5 presenta el desarrollo conceptual de la modelación matemática planteada, indicando claramente la información base de contorno, los parámetros y las limitaciones del modelo.

El capítulo 6 se centra en la presentación de los resultados obtenidos de la investigación, tanto del modelo computacional, como del análisis de información existente. El capítulo 7 plasma las principales conclusiones con base en los resultados obtenidos, adicionalmente define los aportes del documento.

Finalmente, el capítulo 8 incluye la bibliografía sobre la cual se basa la investigación realizada.

Capítulo 1 Planteamiento del Problema, Justificación e Hipótesis

Con el fin de mejorar la competitividad del país, se han venido desarrollando en los últimos años en Colombia una gran variedad de proyectos viales, que pretenden mejorar las condiciones de la infraestructura de transporte, reduciendo así los costos y tiempos de viaje en el traslado de pasajeros y específicamente de carga. Teniendo en cuenta la riqueza hídrica del país, el cual cuenta con una extensa red superficial de agua, estos nuevos proyectos viales deben contemplar el diseño y la construcción de estructuras de paso tipo puentes que permitan dar continuidad a estos corredores.

Las especificaciones de construcción utilizados para el trazado de estos nuevos corredores viales son de última generación; es decir, mayor cantidad de carriles, distancias de recorrido más cortas, mayor velocidad de diseño, etc. Todas estas características, hacen que este tipo de proyectos necesiten de obras civiles de gran magnitud, que impactan la dinámica de los ríos, entre las cuales se encuentran los puentes.

Esta situación supone un nuevo desafío a nivel de ingeniería, ya que se debe estudiar con mayor rigor el efecto que estas estructuras pueden llegar a tener en su entorno. Por lo tanto, no se considera suficiente el realizar un estudio local de fenómenos de socavación para garantizar la estabilidad y vida útil de la estructura; si no que también se considera importante estudiar los efectos que puede tener la implantación de dicha estructura en la dinámica del río, específicamente en el transporte de sedimentos y verificar que no se estén presentando afectaciones aguas abajo a aquellas personas que se beneficien directa o indirectamente del cauce.

Así, por ejemplo, se presenta un caso específico de estudio, en el cual, la construcción de las pilas del nuevo puente Pumarejo, en la ciudad de Barranquilla, pudiera tener efectos adversos hacia aguas abajo.

La construcción del nuevo puente Pumarejo sobre el Magdalena, que comunica a Barranquilla con Santa Marta, es una necesidad que nadie discute. De hecho, esta es una de las megaobras de mayor importancia estratégica para el gobierno nacional. Sin embargo, nunca se discutió el tema de los posibles efectos de sedimentación o erosión que la nueva estructura podía generar, tanto aguas abajo como aguas arriba, y empezó desde hace varias semanas a preocupar a las empresas portuarias y de navegación que operan en la capital del Atlántico.

Para sostener la estructura, la empresa construye dos columnas de 40 metros cuadrados cada una, compuestas a su vez por 50 pilotes, más otras tres más pequeñas en cercanías de la ribera oriental. Con el avance de las obras, las alertas se empezaron a encender porque la velocidad del agua se duplicó en el puente, lo que empezó a generar sedimentaciones y erosiones. De hecho, no se conocen los efectos que la nueva estructura pueda causar en el canal navegable y en la infraestructura de la zona portuaria del río, donde operan 12 terminales y otras seis concesiones no han comenzado a trabajar.

Esta semana el presidente de la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla, René Puche, advirtió que el “canal navegable ha estado inestable y nos hemos visto afectados por fenómenos de sedimentación. Por eso hemos pedido al INVIAS que nos envíe la documentación sobre estudios de corriente que hayan hecho las simulaciones que garanticen que las obras del nuevo puente no están provocando esa sedimentación”.

Uno de los primeros en encender las alarmas fue el oficial de marina Enrique Lequerica Otero. Como dijo a SEMANA, “la modelación hidráulica realizada se apoyó en un modelo hidrodinámico que solo mide niveles y velocidades, pero no aborda fenómenos como efectos erosivos o sedimentarios, no simularon los cambios morfológicos, ni de distribución de

caudales, formación de barras sedimentarias ni los efectos sobre la navegación y la infraestructura portuaria”. Solo en inmediaciones del nuevo puente hay terminales con inversiones superiores a 2.000 millones de dólares, como Zona Franca, Sociedad Portuaria de Barranquilla, Portmagdalena, BITCO y Riverport, terminales que manejan cerca del 80 por ciento de la carga que entra y sale de la ciudad. (Revista Semana, 2016)

Usualmente en Colombia, cuando se realiza el proyecto de implantación de un nuevo puente, los estudios solicitados para tal fin, solo se encuentran enfocados en determinar o evaluar los fenómenos locales de socavación por contracción de la sección y local en pilas y estribos para definir cotas de cimentación seguras, que garanticen la estabilidad de la obra. Sin embargo, en ninguno de los pliegos de condiciones, se solicita la evaluación de las posibles modificaciones en la dinámica del transporte de sedimentos y sus efectos hacia aguas abajo. Con el avance de la tecnología, existen modelos computacionales que permiten determinar el comportamiento de los sedimentos en un cauce específico y determinar las posibles variaciones que se pueden presentar cuando se introducen elementos físicos en el lecho.

Por esta razón, considero que el tema de esta tesis es un punto de partida, para conocer en primera instancia en donde se encuentra el estado del arte en este momento respecto al análisis de la variación del transporte de sedimentos sobre un cauce por efectos de la implantación de un puente a partir de modelación en software especializado. Además, verificar por medio de la modelación computacional y el análisis de la información existente, si para el caso en específico de estudio se presentan problemas de sedimentación aguas abajo del nuevo puente Pumarejo y la relación directa que pueda darse por su construcción.

Por lo tanto, como base de los estudios propuestos y respuesta a la pregunta ¿es posible que la implantación de las pilas del nuevo puente Pumarejo afectara la dinámica de sedimentos del cauce produciendo efectos adversos en el calado y navegación de las embarcaciones que ingresan a los diferentes puertos ubicados aguas abajo del puente?, se parte de la hipótesis que no, ya que la afectación que producen estos elementos es local.

Capítulo 2 Objetivos

2.1. Objetivo General

Estudiar la dinámica del transporte de sedimentos aguas abajo de la implantación de estructuras en el lecho de un río, específicamente el caso del nuevo puente Pumarejo.

2.2. Objetivos Específicos

Realizar una revisión bibliográfica para determinar el estado del arte sobre el transporte de sedimentos en ríos aluviales.

Generar conocimiento adicional mediante la investigación.

Realizar una búsqueda de paquetes computacionales de dominio público (1D, 2D o 3D), en los cuales se pueda realizar la modelación hidráulica y de transporte de sedimentos en cauces aluviales.

Búsqueda y adquisición de información necesaria para la modelación hidráulica y de transporte de sedimentos del caso específico de estudio.

Definir el paquete computacional más adecuado, teniendo en cuenta la información básica que se tiene para realizar el estudio, las limitaciones de cada software y la capacidad de los equipos de cómputo a utilizar.

Determinar los límites de la zona de estudio.

Realizar la calibración hidrodinámica mediante la determinación del coeficiente de rugosidad más adecuado.

Modelación hidráulica y de transporte de sedimentos del caso particular del río Magdalena, en dos escenarios, previo a la construcción del puente y teniendo en cuenta la implantación del nuevo puente Pumarejo.

Realizar la comparación y análisis de resultados, generando las conclusiones del caso.

Capítulo 3 Metodología

La metodología adoptada para el desarrollo del tema de investigación se basa en el método científico, en el cual se parte de un planteamiento del problema y la elaboración de una hipótesis, sobre la cual por medio de la modelación computacional se plantea la comprobación de la hipótesis. Se plantean entonces tres fases: (fase de investigación, fase de modelación y fase de análisis de resultados), las cuales se enfocan en la etapa de comprobación del problema e hipótesis planteadas previamente. Ver Figura 1.

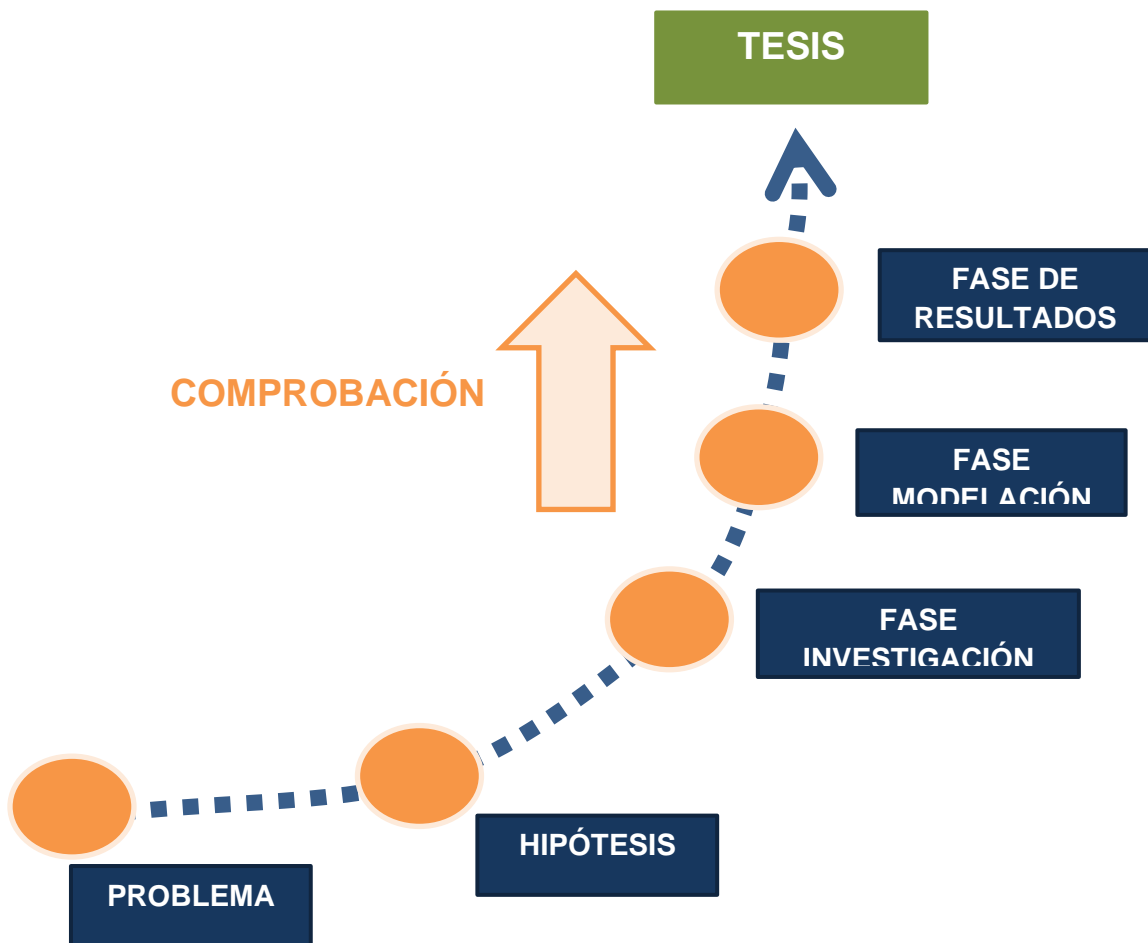


Figura 1. Metodología. Fuente: Elaboración propia

3.1. Fase investigación

La fase de investigación tiene como fin, generar el conocimiento suficiente para entender el fenómeno del transporte de sedimentos; así como, la habilidad necesaria para el manejo del software especializado seleccionado para modelación. Para esto se planteó la realización de las siguientes actividades:

- Realizar una búsqueda exhaustiva de información en todos los medios posibles (internet, bibliotecas públicas y privadas, corporaciones gubernamentales, etc.) acerca de la teoría de transporte de sedimentos.
- Realizar una investigación sobre el estado del arte respecto a los modelos computacionales existentes con la capacidad de realizar análisis de transporte de sedimentos, sus características principales y sus limitaciones para definición del modelos o modelos computacionales a utilizar.
- Con el software seleccionado, realizar por parte del estudiante, un estudio juicioso del manual de usuario, así mismo apoyo en cursos presenciales o en línea para generar el conocimiento y la destreza adecuada en la utilización del programa seleccionado.

3.2. Fase modelación

La fase de modelación, como su nombre lo indica, tiene como fin alimentar y calibrar el modelo hidráulico y sedimentológico para obtener resultados acordes a la realidad del fenómeno estudiado. Se realizan las siguientes actividades:

- Determinar los límites espaciales y temporales de la modelación, los cuales están ligados al problema planteado, la información existente y las limitaciones impuestas por el equipo de cómputo.
- Determinar con base en la información existente los datos de caudales, niveles, concentraciones de sedimentos en suspensión y características físicas de los sedimentos en el sector de análisis que sirvan como condiciones fronteras del modelo.

- Definir el coeficiente de rugosidad adecuado para modelación mediante el análisis de sensibilidad del coeficiente de rugosidad del lecho, por medio de modelo computacional en 1D HEC RAS, debido a la longitud temporal de datos de calibración (caudal – nivel).
- Modelación hidro-sedimentológica en modelo IBER 2D para un caudal dominante de 8000 m³/s y para dos escenarios, así:
 - Escenario 1, previo a construcción del puente Pumarejo nuevo (2016), donde sólo se encuentra la afectación de las pilas del puente antiguo (1974).
 - Escenario 2, posterior a construcción del puente Pumarejo nuevo (2016), donde se encuentra el efecto combinado de las pilas de los dos puentes.

3.3. Fase de resultados

Finalmente, la fase de análisis de resultados tiene como fin generar las conclusiones respectivas a partir del análisis de los resultados. Para esto se plantean las siguientes actividades:

- Análisis de contraste de velocidades entregado por el programa IBER 2D en los dos escenarios identificando las variaciones y posibles efectos.
- Análisis de contraste del parámetro (erosión – sedimentación) entregado por el programa IBER 2D en cada uno de los escenarios, identificando las variaciones.
- Complementación de la información entregada por el modelo a través del análisis comparativo de cotas de fondo de las diferentes batimetrías que se poseen para la investigación en puntos específicos, teniendo en cuenta la fecha de construcción del nuevo puente.
- Concluir con base en los resultados obtenidos.

Capítulo 4 Marco Teórico

4.1. Transporte de Sedimentos

4.1.1. Reseña histórica¹

Los primeros avances en el arte del transporte de sedimentos, aparentemente se desarrollaron en China cerca de 4000 años antes del inicio de la era moderna. La historia nos cuenta que conocimientos similares fueron desarrollados simultáneamente en Mesopotamia y Egipto, esto indicaría que existe la probabilidad de que el desarrollo de estos conocimientos en China se diera previamente, teniendo en cuenta el tiempo que tarda la transmisión de conocimiento. Entre el año 4000 y 0 antes de Cristo, el centro de la actividad científica estuvo situado en Mesopotamia, Egipto y Anatolia. Esta región constituía un puente natural entre el área más avanzada del oriente y el más primitivo mundo de occidente.

Es así como el ingeniero hidráulico Yu (4000 a.C.), quien se dice que fue el creador de muchos diques para proteger las fértiles llanuras chinas contra las inundaciones, fue elegido emperador del país. Las obras que construyó hace unos 6000 años con conceptos y obras modernas es difícil decir que la ingeniería de sedimentos sea de origen reciente.

Es sorprendente descubrir que aproximadamente en el mismo período (4000 a. C.) florecía la ingeniería hidráulica en Mesopotamia y unos diez siglos más tarde en Egipto. Se construyeron canales desde los ríos Tigris y Éufrates y estaban en funcionamiento amplios sistemas de riego y diques de control de inundaciones fueron concebidos y construidos para preservar las tierras fértiles de la destrucción de las inundaciones. Incluso hoy en día no existen obras de control de inundaciones y sistemas de riego tan extensos en esta parte del mundo.

¹ Este numeral se desarrolló de manera libre, con base en la información adquirida en (Simons & Sentürk, 1977), (Graf, 1998) y (Pedroza, 2018).

La transferencia de conocimiento desde oriente a occidente probablemente ocurrió en un periodo de 1000 años. Durante este tiempo se desarrollaron acondicionamientos de ríos y puentes fueron construidos para permitir el paso de los ejércitos que se movilizaban hacia el occidente. Ellos sabían cómo determinar la socavación máxima alrededor de las pilas en puentes y construían la fundación de las pilas debajo de este límite. Algunas de las construcciones terminadas en este periodo duraron más de 600 años, algunas aún se evidencian en Yugoslavia, Bulgaria, Turquía, África y en el medio oriente.

Después de este periodo antiguo, existió un periodo de pocos avances, influenciado principalmente por las guerras territoriales libradas en esta época. La siguiente fase del desarrollo se acopla con la época del Renacimiento en Italia. El nuevo periodo tuvo su comienzo cerca del año 1452, año en el nació Leonardo da Vinci.

Leonardo da Vinci fue uno de los grandes genios de esta época, fue un gran observador y analítico, interesado en muchos de los fenómenos naturales, incluido el del movimiento del agua. Fue el escritor del gran tratado “Del moto e misura dell’acqua”, el cual contaba con nueve tomos distintos, todos dedicados al análisis hidráulico.

Muchos otros contribuyeron en el desarrollo de esta época, Galileo Galilei (1564-1642) quien generalmente es conocido por sus estudios sobre astronomía, también dedicó parte de su tiempo a la investigación del flujo de agua. Koca Sinan (1489-1588) quien construyó grandes obras de ingeniería como puentes y sistemas de distribución de agua en grandes ciudades, destacando por su gran conocimiento en el tema.

En el siglo XVII, Castelli publicó los tres principios que definen la ecuación de continuidad, en su obra “Della misura delle acque correnti” (1628) y que fueron la base de la hidráulica que se conoce actualmente. También se encuentra Domenico Guglielmini, llamado “the father of the science of river hydraulics”

(1697), quien construyó los diques en río Po, y su libro " Della natura de Fiumi", el cual fue el primer libro en tratar obras de control en ríos y manejo de sedimentos.

Toricelli (1608-1647), Mariotte, Hooke, Parent, Descartes, Pascal Newton y muchos otros contribuyeron significativamente en las actividades de este período.

Hacia 1770, Frizi publicó dos ediciones de un "Tratado sobre ríos y torrentes con el método de regular sus cursos y canales". En su trabajo, Frizi discutió una variedad considerable de problemas relacionados con las mejoras de los ríos y el transporte de sólidos por medio del agua corriente. Probablemente fue el primero en registrar estudios de laboratorio sobre estos problemas.

Además, este período se benefició de los esfuerzos de otros investigadores como Bernoulli (1700-1782) Euler (1707-1783), Pilot (1695-1771), Laplace (1749-1827), Lagrange (1786-1813), Gauss (1777-1855), etc. Pero muchos avances en la hidráulica fluvial se debieron a Frizi, P. Dubuat (1734-1809) y A. Chezy (1718-1798).

P. Dubuat (1734-1809) a menudo se llama el fundador de la escuela hidráulica francesa. Ciertamente, la importancia de las contribuciones en mecánica general de sus predecesores como Newton (1642-1727), D. Bernoulli (1700-1782), Euler (1707-1783) y Lagrange (1736-1813), lo ayudó significativamente en sus estudios. En 1786, Dubuat publicó la segunda edición de su célebre "Principe d'Hydraulique", en el que registró los resultados de experimentos sobre las velocidades necesarias para mover partículas de roca de varios tamaños. Habló de la formación y migración de las olas de arena, la estabilidad de las secciones transversales del canal, el efecto de acorazamiento por la fracción más gruesa del material del lecho, varias ecuaciones de flujo uniforme, morfología fluvial y otros problemas relacionados. Su libro debe considerarse como el primer tratamiento integral de la hidráulica fluvial.

La contribución de A. Chezy (1718-1798) a la hidráulica de canales incluye la fórmula de flujo uniforme de Chezy utilizada para estimar la velocidad promedio del

flujo en canales abiertos. Esta fórmula relaciona la velocidad promedio, U , la pendiente de los gradientes de energía, S , y el radio hidráulico, R .

$$U = C\sqrt{RS}$$

Donde C es un factor de resistencia que varía con las características del canal y las condiciones de los límites. En Francia, a Chezy le siguieron Borda, Bossut, d'Alembert, Condorcet y DuBoys, Venturi y Woltman.

Ya en el siglo XIX, hubo investigadores importantes para el campo de la hidráulica como Claude Navier (1785-1836), Jean-Claude Barré de Saint-Venant (1797-1886), William Froude (1810-1879), Robert Manning (1816-1897), George Gabriel Stokes (1819-1903), Henry Bazin (1829-1917), O. Reynolds (1842-1912), J. Boussinesq (1842-1929), etc. Sin embargo, los principales contribuyentes a una mejor comprensión de los problemas de sedimentos deben acreditarse a Jules Dupuit (1804-1866) y M. P. DuBoys (1847-1924)

Dupuit fue la primera persona en considerar seriamente el transporte de sedimentos en suspensión. En 1848 publicó "Etudes Theoriques et Pratiques sur le Mouvement des Eaux", y M. P. DuBoys en 1879 presentó su teoría de la "fuerza tractiva" que ha sido ampliamente aceptada y se ha utilizado en el estudio de los movimientos transporte de fondo.

Ya en el siglo XX, los avances más significativos se dieron en la segunda mitad del siglo, ya que antes de este periodo, muchos de los investigadores se inclinaban a estudiar el movimiento del agua sin tener en cuante la carga de sedimentos. Sin embargo, esfuerzos como los de Shields, Einstein, Meyer Peter, Kalinske, Engelund, Van Rijn, entre otros, fueron los que generaron el desarrollo de formulaciones para determinar las cargas de fondo y suspensión de sedimentos en ríos que conocemos actualmente y sobre la cual se basan la mayoría de los modelos matemáticos de transporte de sedimentos.

4.1.2. Propiedades Sedimento

Existen varias definiciones de sedimentos, para el presente trabajo se adopta la presentada por el Subcomité de Terminología Sedimentológica de la Unión Americana (AGU), la cual establece:

“Fragmentos de material transportado por, suspendido en, o depositado por agua o aire, o acumulado en los lechos por otros agentes naturales; cualquier acumulación detrítica, tal como loess”(Basile, 2018).

El transporte de sedimentos fluvial no sólo depende de la hidrodinámica y energía del cauce para moverlos, también dependen de las características propias del sedimento que transportan, tanto de manera individual como en conjunto. Ver Figura 2.

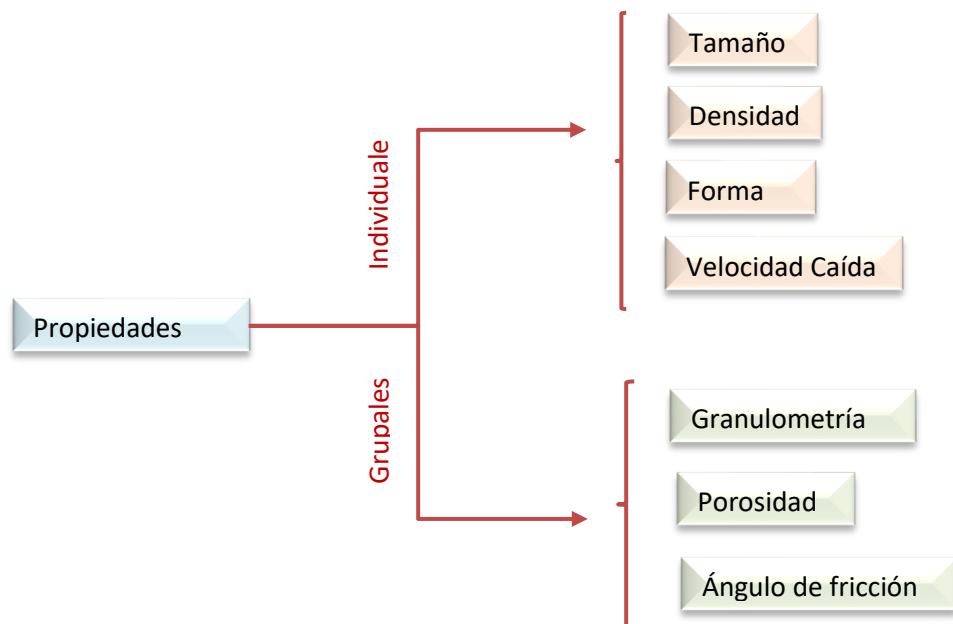


Figura 2. Diferenciación propiedades de los sedimentos. Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1 Propiedades individuales

4.1.2.1.1 Tamaño

El diámetro de una partícula individual de sedimento importa en el proceso de transporte, en la energía necesaria para iniciar su movimiento; es decir, es más fácil mover un grano de diámetro pequeño que uno con diámetro mayor.

Existe una clasificación del sedimento, con base en el diámetro de este, en la Tabla 1 se presenta esta clasificación con base en lo definido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA, por sus siglas en inglés.

Tabla 1. Clasificación de tamaños comunes de grano

RANGO (mm)		CLASIFICACIÓN
DE	A	
< 0.002		Arcilla
0.002	0.004	Limo muy fino
0.004	0.008	Limo fino
0.008	0.016	Limo medio
0.016	0.031	Limo grueso
0.031	0.063	Limo muy grueso
0.063	0.125	Arena muy fina
0.125	0.25	Arena fina
0.25	0.5	Arena media
0.5	1	Arena gruesa
1	2	Arena muy gruesa
2	4	Grava muy fina
4	8	Grava fina
8	16	Grava media
16	32	Grava gruesa
32	64	Grava muy gruesa
64	128	Cantos finos
128	256	Cantos gruesos
> 256		Guijarro

Fuente: (Wilcock et al., 2009)

4.1.2.1.2 Densidad

La densidad del sedimento, junto con su diámetro, son probablemente los dos parámetros más importantes de cara a la caracterización del sedimento. La densidad se utiliza en las formulaciones de transporte sólido para caracterizar el peso del sedimento.

“La densidad de una partícula de sedimento se refiere a su composición mineralógica”. (Yang, 1996).

La arcilla está compuesta por fragmentos microscópicos de feldespatos y micas. Los cuatro principales minerales arcillosos son: caolinita, illita, montmorillonita y clorita. El limo y la arena están compuestos por sílice y cuarzo respectivamente. Mientras las gravas y cantos rodados son fragmentos de roca madre (parental). (Basile, 2018). En la Tabla 2 se presentan las densidades típicas de sedimentos, según su composición mineralógica principal.

Tabla 2. Clasificación densidad según mineral

MATERIAL	DENSIDAD (kg/m³)
Montmorillonita	2400
Illita	2600
Caolinita	2600
Cuarzo	2650
Calcita	2700
Basalto	2800
Biotita	3000
Magnetita	5170
Hematita	5200

Fuente: (Basile, 2018)

La gran mayoría de los sedimentos aluviales están compuestos por limos y arenas, los cuales tienen entre su estructura sílice y cuarzo, por lo que es común definir una densidad de sedimento de 2650 kg/m³.

4.1.2.1.3 Forma

La forma se refiere a la forma general de la partícula independientemente de su tamaño o composición. En el análisis de sedimentos, uno de los parámetros más pertinentes para definir la forma es la esfericidad, que fue definida por Wadell (1932) como la relación entre el área superficial de una esfera con el mismo volumen de la partícula y el área superficial real de la partícula. (Simons & Sentürk, 1977).

Corey investigó diferentes factores de forma, y concluyó desde el punto de vista de la simplicidad un factor de forma, el cual depende de las dimensiones largo, ancho y alto (a, b y c) de la partícula en los tres ejes perpendiculares, ver Figura 3.

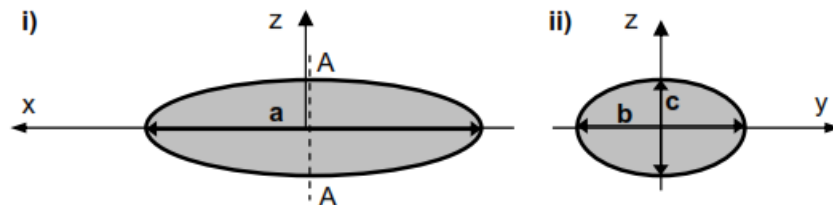


Figura 3. Esquema dimensiones triaxiales partícula sedimento. Fuente: (Basile, 2018)

El factor de forma queda definido por la siguiente expresión:

$$S_p = \frac{c}{\sqrt{ab}}$$

4.1.2.1.4 Velocidad de caída

Este parámetro de la partícula de sedimento está muy ligado al tamaño, la forma de la partícula, la rugosidad, la densidad, pero también a las condiciones de flujo durante el arrastre, el transporte y la deposición.

La velocidad de caída de una partícula en su forma general puede ser calculada como el balance entre el peso sumergido de la partícula (Fuerza actuante) y la fuerza de arrastre que se opone al movimiento (Fuerza resistente). (Yang, 1996), mediante las siguientes expresiones respectivamente:

$$W_s = V_s(\rho_s - \rho)g$$

Donde:

W_s : Peso sumergido partícula sedimento.

V_s : Volumen partícula sedimento.

ρ : Densidad del agua.

ρ_s : Densidad de la partícula sedimento.

g : Aceleración de la gravedad.

$$F_D = C_D \rho A \frac{\omega^2}{2}$$

Donde:

F_D : Fuerza de arrastre.

C_D : Coeficiente de arrastre

ρ : Densidad del agua.

A : Proyección del área de la partícula en dirección de la caída.

ω : Velocidad de caída.

Igualando las ecuaciones y despejando explícitamente para ω , se obtiene:

$$\omega = \left(\frac{2V_s(\rho_s - \rho)g}{C_D \rho A} \right)^{0.5}$$

A partir de esta ecuación, se derivan la gran mayoría de otros autores, siendo la más sencilla, la que supone una partícula esférica:

$$\omega = \left(\frac{4(S - 1)gd}{3 C_D} \right)^{0.5}$$

Donde:

S : Densidad específica.

4.1.2.2 Propiedades grupales

4.1.2.2.1 Granulometría

A pesar de que las propiedades individuales del sedimento son importantes, el mayor interés se centra en las partículas de sedimentos agrupadas.

El tamaño de los sedimentos es en general analizado por métodos estadísticos. El tamaño de una muestra se divide en intervalos de clase, y el porcentaje de muestra que ocurre en cada intervalo es graficado como función del tamaño. (Yang, 1996).

En muchos casos la distribución granulométrica de un sedimento natural se aproxima a una distribución log-normal (lo cual quiere decir que el logaritmo del diámetro sigue una distribución normal). Ver Figura 4.

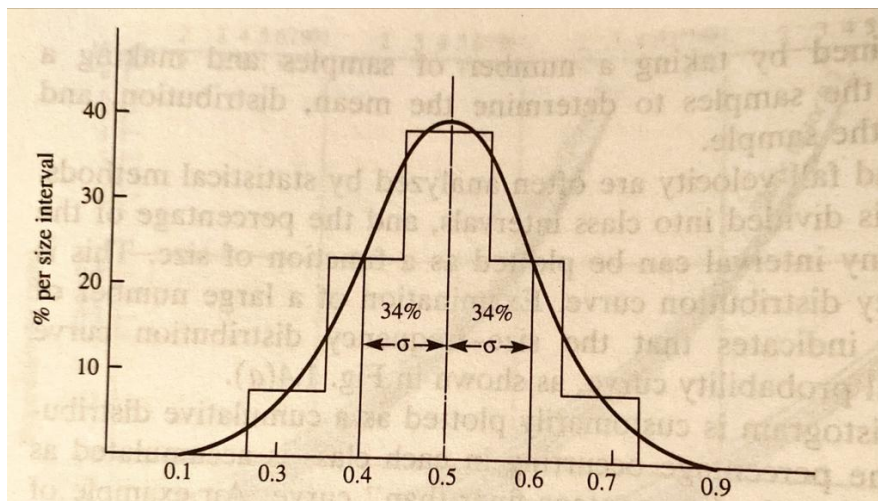


Figura 4. Curva de distribución Normal de frecuencias del tamaño de muestras sedimentológicas de lecho. Fuente:(Yang, 1996)

A partir de dicha distribución se utilizan algunos valores característicos para definir el tamaño del sedimento, que suelen ser la mediana de la distribución (D_{50}) o el diámetro medio (D_m).

El tamaño de los granos de sedimento puede extenderse a lo largo de un rango de valores mayor o menor.

- Si todas las partículas de sedimento tienen un tamaño similar se dice que la granulometría es uniforme.
- Si existe una gran gradación en el tamaño de las partículas se dice que la granulometría es extendida.

4.1.2.2.2 *Porosidad*

La porosidad se define como “la medida o la relación entre el volumen de vacíos por unidad de volumen de sedimentos total” (Simons & Sentürk, 1977). “Este parámetro es importante en la determinación del volumen de sedimentos. Es también importante en la conversión de volumen de sedimentos a caudal sólido y viceversa” (Yang, 1996).

4.1.2.2.3 *Ángulo de fricción*

“El ángulo de reposo se define como el ángulo estable que adopta un conjunto de partículas de sedimento granular cuando se las dispone apiladas tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 5”. (Basile, 2018).

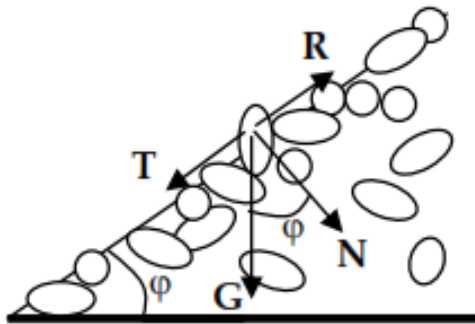


Figura 5. Esquema ángulo reposo. Fuente: (Basile, 2018)

El ángulo de reposo de las partículas de sedimento puede ser obtenido introduciendo partículas de sedimento en agua, con velocidad cercana a cero y luego medir el ángulo del cono de sedimento que se forma. En la Figura 6, presenta la variación del ángulo de reposo (θ) versus el diámetro de sedimento. El diagrama fue realizado con pumita, lignitos, baquelita y arena gruesa. El ángulo de reposo disminuye a medida que aumenta el diámetro del sedimento hasta un valor mínimo, entonces el ángulo aumenta nuevamente cuando aumenta el diámetro de sedimento. (Simons & Sentürk, 1977).

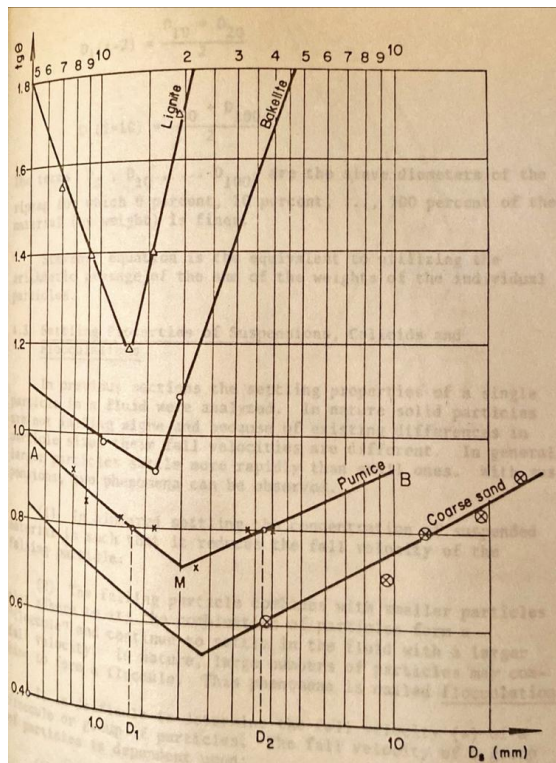


Figura 6. Variación ángulo de reposo versus diámetro del sedimento. Fuente: (Simons & Sentürk, 1977)

4.1.3. Movimiento Incipiente

Este es uno de los conceptos más importantes en el desarrollo de la teoría de transporte de sedimentos y se refiere a determinar las condiciones en las cuales las partículas de sedimento inician su movimiento y se trasladan de un punto a otro.

Hay dos formas de aproximarse al estudio de la iniciación del movimiento. Una de ellas se refiere a la acción del esfuerzo de corte o fuerza tractiva. El movimiento de las partículas del fondo empieza cuando la fuerza actuante τ (es decir, la fuerza tractiva) es igual a la fuerza tractiva crítica τ_c . La otra forma es la determinación de la velocidad crítica. Se denomina la velocidad crítica de arrastre

a la velocidad media de la corriente a la cual empieza el movimiento de las partículas constituyentes del lecho. (Rocha, 1998).

El esfuerzo cortante crítico τ_c , está bien definido como un concepto abstracto: es el valor de τ en el que comienza el transporte. Pero debido a que se trata de un límite, es imposible de medir directamente. Si se observa que los granos se mueven, entonces $\tau > \tau_c$. Si no se mueven granos, $\tau < \tau_c$. Se podría resolver con suficientes observaciones, pero preguntas más difíciles confunden el problema. Si se busca el movimiento de un grano, ¿cuánto tiempo se debe vigilar el lecho y cuánta superficie de este se debe observar para determinar si los granos se mueven o no? Cuando el flujo es turbulento (lo que significa que τ en cualquier punto fluctúa en el tiempo) y el tamaño y la configuración de los granos varían, estas preguntas son difíciles de responder. (Wilcock et al., 2009).

Existen varias aproximaciones a esta teoría, sin embargo, de las más aceptadas es la teoría de Shields, quien tomo el trabajo realizado por DuBoys y determinó una gráfica conocida como el diagrama de Shields.

El arrastre de las partículas que se transportan por carga de fondo se produce debido a la fuerza que ejerce el agua sobre el fondo del cauce (fuerza tractiva), dicha tensión de fondo se ejerce directamente sobre las partículas de sedimento que forman el lecho y es por lo tanto una fuerza desestabilizadora que tiende a ponerlas en movimiento. Para que una partícula del fondo se mueva, la fuerza ejercida por el agua sobre ella debe ser superior a la fuerza estabilizadora que supone el peso de la propia partícula y su entrelazamiento con otras partículas que la rodean.

En la Figura 7, se presenta un esquema de las fuerzas ejercidas sobre una partícula de sedimento del fondo de un río. Si bien el esquema de la figura es una representación muy simplificada de las fuerzas ejercidas sobre una partícula de sedimento, permite poner de manifiesto algunas ideas importantes a la hora de comprender las variables que influyen en el transporte de fondo.

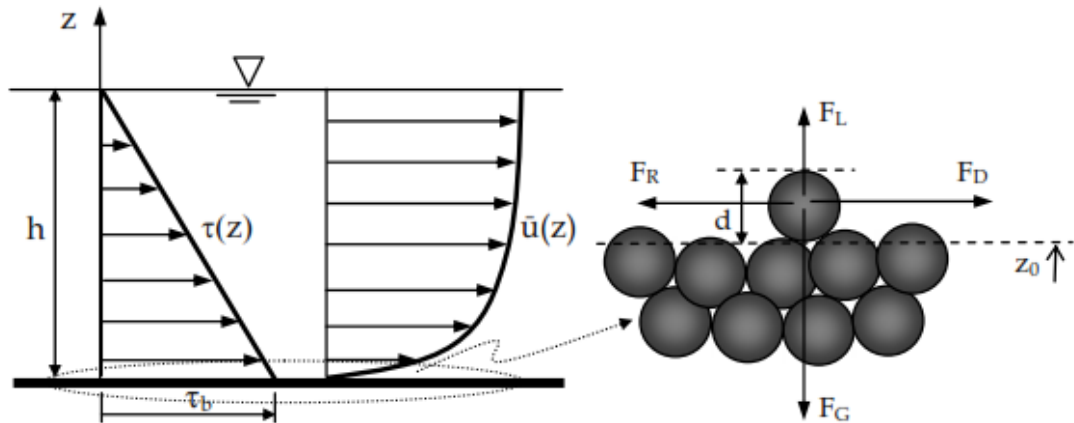


Figura 7. Esquema de fuerzas actuando sobre partículas de sedimento. Fuente: (Basile, 2018)

Donde:

F_G : Peso sumergido partícula sedimento.

F_D : Fuerza ejercida por la corriente de agua sobre la partícula en dirección paralela al cauce.

F_L : Fuerza ejercida por la corriente de agua sobre la partícula en dirección perpendicular al cauce.

F_R : Fuerza que se opone al movimiento de la partícula.

Las dos componentes de la fuerza ejercida por la corriente F_D y F_L se asumen proporcionales a la tensión de fondo τ_b y al cuadrado del diámetro de la partícula d , con unas constantes de proporcionalidad.

$$F_D = k_D \tau_b d^2$$

$$F_L = k_L \tau_b d^2$$

El peso sumergido F_G se asume proporcional a la densidad sumergida de la partícula y a su diámetro al cubo, con constante de proporcionalidad.

$$F_G = k_G g (\rho_S - \rho) d^3$$

La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal ejercida por la partícula contra el fondo y a la tangente del ángulo de rozamiento interno del sedimento.

$$F_R = (F_G - F_L) \tan \varphi$$

De acuerdo con el esquema de fuerzas simplificado, para que una partícula de sedimento comience a moverse en dirección de la corriente, la fuerza de arrastre F_D debe ser superior a la fuerza de rozamiento F_R .

$$F_D > F_R \rightarrow F_D > F_G \tan \varphi - F_L \tan \varphi$$

Introduciendo en la desigualdad anterior las expresiones de las fuerzas vistas anteriormente, se obtiene la siguiente desigualdad como condición de movimiento de una partícula de sedimento del fondo:

$$\frac{\tau_b}{g (\rho_S - \rho) d} > \frac{k_P \tan \varphi}{(k_D + k_L \tan \varphi)}$$

Esta expresión la hemos obtenido a partir de hipótesis excesivamente simplistas, ya que las partículas de sedimento no son esféricas y además hemos utilizado expresiones muy sencillas para calcular las diferentes fuerzas que intervienen en el arrastre de sedimentos. Además, no sabemos estimar los coeficientes que intervienen en el cálculo de las diferentes fuerzas que actúan sobre la partícula. Es más, estos coeficientes serían diferentes para cada partícula de sedimento, y dependerían de su forma exacta y de su posición en el lecho.

Si bien, por los motivos que acabamos de exponer, desde el punto de vista práctico la expresión anterior no es útil para calcular la tensión crítica de arrastre a partir de la cual un determinado sedimento es arrastrado por la corriente, sí que es interesante desde el punto de vista dimensional.

De hecho, el cociente que aparece a la izquierda de la desigualdad expresa la relación entre las fuerzas desestabilizadoras (fricción de fondo) y las estabilizadoras (peso sumergido) que influyen en el equilibrio de las partículas de sedimento. A dicho cociente adimensional se le llama tensión de Shields.

$$\theta = \frac{\tau_b}{g(\rho_s - \rho)d}$$

A partir de numerosos ensayos realizados en laboratorio, Shields determinó experimentalmente a partir de qué valor de la tensión de fondo adimensional θ_c las partículas de sedimento del fondo comienzan a moverse, y obtuvo un gráfico, al cual se le conoce como diagrama de Shields. Ver Figura 8.

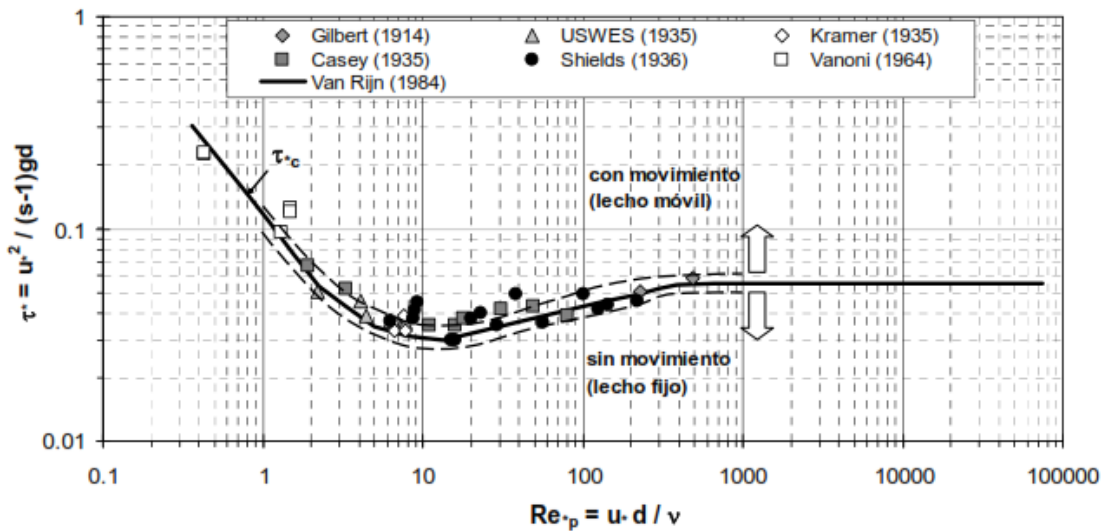


Figura 8. Diagrama de Shields. Fuente: (Basile, 2018)

4.1.4. Transporte de Sedimento de Fondo

Cuando la situación de flujo satisface o excede el criterio de movimiento incipiente, las partículas de sedimento que conforman el lecho comienzan a moverse. Si el movimiento de partículas es rodando, deslizándose o en algunas ocasiones saltando, esto es lo que se conoce con transporte de sedimento de fondo. (Yang, 1996).

Existen muchas fórmulas para el cálculo del caudal sólido de fondo. Estas fórmulas proporcionan la capacidad de transporte, no el gasto sólido real de una corriente para condiciones que suponen la existencia de un flujo muy esquematizado. Estas formulas se caracterizan por tener diversos orígenes y corresponder a diferentes concepciones del modo como ocurren los fenómenos. Unas tienen base exclusivamente teórica y otras son de origen experimental. (Rocha, 1998).

A continuación, se presentan algunas de las fórmulas más conocidas para determinar el transporte de fondo.

4.1.4.1 Meyer – Peter & Müller

La ecuación de Meyer-Peter & Müller fue propuesta en 1948 a partir de resultados de ensayos con fondos de grava, con sedimentos de tamaños comprendidos entre 2 mm y 30 mm de diámetro.

El caudal sólido de fondo adimensional se calcula en la formulación original con la siguiente expresión:

$$q_{sb} = 8(\theta - \theta_c)^{1.5}$$

Donde:

q_{sb} : Caudal sólido de fondo adimensional.

θ : Tensión de fondo adimensional

θ_c : Tensión crítica de Shields

El caudal sólido depende del exceso de tensión de fondo adimensional sobre un valor crítico, equivalente a la tensión crítica de Shields. En la formulación original se propone un valor de tensión crítica adimensional de 0.047.

4.1.4.2 Wong y Parker

En el año 2006, tras volver a analizar los datos utilizados para derivar la ecuación de Meyer – Peter & Müller, Wong y Parker (2006) sugirieron la siguiente corrección a la formulación:

$$q_{sb} = 3.97(\theta - \theta_c)^{1.5}$$

Donde:

q_{sb} : Caudal sólido de fondo adimensional.

θ : Tensión de fondo adimensional

θ_c : Tensión crítica de Shields

En el caso de fondo horizontal, el valor de la tensión crítica propuesto por Wong y Parker para fondo plano es igual a 0.0495.

4.1.4.3 *Van Rijn*

La fórmula de van Rijn se obtuvo a partir del ajuste de medidas de caudal sólido en fondos de arena, con diámetros de sedimento comprendidos entre 0.2 mm y 2 mm. Al igual que la formulación de Meyer – Peter & Müller, la fórmula de van Rijn depende del exceso de tensión de fondo sobre un valor crítico, pero en este caso dicha diferencia se normaliza con la tensión crítica según la siguiente expresión:

$$T = \frac{\theta - \theta_C}{\theta_C}$$

El caudal sólido adimensional, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Si } T \leq 0.3 \rightarrow q_{sb} = 0.053 \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}}$$

$$\text{Si } T > 0.3 \rightarrow q_{sb} = 0.10 \frac{T^{1.5}}{D_*^{0.3}}$$

$$D_* = D \left(\frac{g R}{v^2} \right)^{1/3}$$

4.1.4.4 *Shields*

Durante la realización de sus estudios sobre el inicio del movimiento, Shields midió las condiciones de flujo con transporte de sedimentos superiores a cero y entonces extendió la relación para obtener condiciones de flujo correspondientes al inicio del movimiento. Tras la realización de

dichos estudios, en 1936, Shields presentó una ecuación semiempírica para determinar el arrastre de fondo, la expresión fue la siguiente:

$$q_{st} = \frac{10 q_u i}{D_{50} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^2} (\theta - \theta_c)$$

Donde:

q_{st} :	Caudal sólido total.
θ :	Tensión de fondo
θ_c :	Tensión crítica
q_u :	Caudal líquido unitario
i :	Pendiente de fondo
D_{50} :	Diámetro de sedimento que deja pasar el 50% de las partículas

Cuando el parámetro de Shields es mayor que 0.03, la ecuación expresa el transporte total (transporte en suspensión más transporte de arrastre de fondo), por eso se expresa como caudal total, no obstante, cuando el parámetro de Shields es menor que 0.03, la ecuación expresa únicamente el arrastre de fondo ya que en estas circunstancias el transporte en suspensión es muy reducido o nulo.

4.1.5. Transporte de Sedimento en Suspensión

El transporte en suspensión se refiere al sedimento que se mantiene en suspensión por las corrientes ascensionales del flujo turbulento y permanecen en suspensión por un periodo de tiempo apreciable. En la mayoría de los ríos

naturales, los sedimentos son transportados de en gran parte como carga en suspensión; entre el 95% y el 75% del transporte total de sedimentos se mueve de esta manera. (Yang, 1996).

Al igual que para el transporte de fondo, existen muchas fórmulas para determinar el caudal de sedimento en suspensión, a continuación, se realiza la enumeración de algunas de ellas.

4.1.5.1 Van Rijn

En la formulación de van Rijn (1987) el término que modela en la ecuación de transporte de sedimento, la puesta en suspensión y la deposición (E-D), se evalúa a partir de la siguiente expresión:

$$E - D = W_S(c_0^* - \alpha C)$$

Donde:

$E - D$: Erosión - Depositación

C : Concentración de sedimento

W_S : Velocidad de sedimentación en reposo.

c_0^* : Concentración de sedimento de referencia

α : Parámetro que relaciona la concentración de sedimento cerca del fondo con su valor promediado en profundidad

La concentración de referencia se calcula como:

$$c_0^* = 0.015 \frac{D T^{1.5}}{Z_0 D_*^{0.3}}$$

4.1.5.2 Smith Mclean

La formulación de Smith Mclean (1977) es similar a la de van Rijn, con la única diferencia de que la concentración de equilibrio cerca del lecho se calcula con la siguiente expresión:

$$c_0^* = \frac{0.00156 T}{1 + 0.0024 T}$$

4.1.5.3 Ariathurai y Arulanandan

La formulación de Ariathurai y Arulanandan (1978) se desarrolló para suelos cohesivos. En lugar de calcular el término (E-D) de forma conjunta con una única expresión, tal como se hace en las formulaciones de van Rijn y de Smith Mclean, en este caso se propone una expresión para calcular la puesta en suspensión de sedimento (E) y otra para calcular la deposición (D).

El término de erosión (E) se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$E = M \left(\frac{\theta - \theta_{CE}}{\theta_{CE}} \right)$$

Donde:

θ : Tensión de fondo

θ_{CE} :	Tensión crítica de erosión
M :	Coefficiente adimensional que modula la tasa de erosión

El término de deposición (D) se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$D = \left(\frac{\theta_{CD} - \theta}{\theta_{CD}} \right) W_S \alpha C$$

θ :	Tensión de fondo
θ_{CD} :	Tensión crítica de depositación
M :	Coefficiente adimensional que modula la tasa de erosión
W_S :	Velocidad de sedimentación en reposo.
C :	Concentración de sedimento
α :	Parámetro que relaciona la concentración de sedimento cerca del fondo con su valor promediado en profundidad

4.2. Modelación Computacional Transporte de Sedimentos

El uso de modelos computacionales para la resolución de problemas de ingeniería es relativamente reciente con respecto al uso de modelos físicos, durante las últimas cuatro décadas se han desarrollado un gran número de modelos computacionales hidrodinámicos y de transporte de sedimentos.

Con la rápida evolución en la resolución de las ecuaciones que gobiernan la mecánica de los fluidos mediante métodos numéricos, los modelos computacionales hidrodinámicos y de transporte de sedimentos se han vuelto muy atractivos para el estudio de problemas de ingeniería en sistemas lénticos y

lóticos. En general, estos modelos involucran la resolución de una o más ecuaciones diferenciales que gobiernan el movimiento de los fluidos como la ecuación de continuidad, momento y energía del fluido, además de la ecuación diferencial de continuidad de caudal sólido o sedimentos. (Thanos Papanicolaou et al., 2008).

Este tipo de modelos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Según su rango de aplicación:

- Modelos de transporte de sedimentos en suspensión
- Modelos de transporte de sedimentos de fondo
- Modelos de transporte de sedimentos total
- Modelos de transporte de sedimentos físicos
- Modelos de transporte de sedimentos químicos

Según su formulación espacial:

- Modelos de una dimensión
- Modelos bi-dimensionales.
- Modelos tri-dimensionales.

Según su formulación temporal:

- Modelos con flujo permanente
- Modelos con flujo cuasi-permanente
- Modelos con flujo no permanente

4.2.1. Descripción Modelos

Dependiendo del tipo de problema que se esté resolviendo o investigando, se definirá la utilización de modelos físicos, modelos computacionales o una combinación de ambos; sin embargo, los modelos computacionales tienen las siguientes ventajas:

- Requieren en general menores recursos de tiempo y dinero que un modelo físico.
- Se adaptan a diferentes situaciones de manera más fácil que modelo físico.
- No están sujetos a efectos de distorsión cuando la solución se obtiene para las mismas condiciones de flujo. Mismo número de Froude o Reynolds por ejemplo.

En general, cada uno de los países más avanzados en investigación, desarrollan sus propios paquetes computacionales, por lo tanto, en el mercado existe una gran variedad de software para la solución hidrodinámica y transporte de sedimentos; sin embargo, existen algunos paquetes, que son los más reconocidos y utilizados, los cuales se mencionan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Modelos computacionales reconocidos

MODELOS	DESARROLLADOR	ALCANCE
HEC-RAS	US Army Corps of Engineers. USA	Unidimensional y bidimensional. El más conocido y aplicado en hidráulica fluvial. Permite régimen no permanente y transporte de sedimentos.
MIKE	Danish Hydraulic Institute DHI. Dinamarca	Tiene un entorno integral para modelación hidrodinámica en una dimensión (MIKE11), dos dimensiones (MIKE21) y tres dimensiones (MIKE 3).
TELEMAC	Electricité de France, EDF. Francia	Trabaja con elementos finitos módulos de simulación en 1, 2 y 3 dimensiones y considera transportes de sedimentos.

MODELOS	DESARROLLADOR	ALCANCE
DELFT 3D	DELTARES Holanda	Permite simulación en 2D y 3D.
INFOWORKS	HR Wallingford	Está integrado a un GIS, tiene módulos para la modelación de ríos, saneamientos, módulos costeros y gestión de recursos hídricos.
IBER 2D	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas	Programa bidimensional por módulos, incluye módulo hidrodinámico y transporte de sedimentos para modelación de aguas someras y estuarios.

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.1 Modelos 1D

Desde principios de la década de los 80's, los modelos hidráulicos computacionales formulados en una dimensión han sido utilizados de manera exitosa en el desarrollo de proyectos de ingeniería y en el campo de la investigación. Estos modelos fueron formulados en su mayoría para resolver las ecuaciones diferenciales de conservación de masa y momento del flujo, teniendo en cuenta únicamente la componente en la dirección principal del flujo, además, de la ecuación de continuidad de masa de caudal sólido. (Thanos Papanicolaou et al., 2008)

En la Tabla 4 se presenta la descripción de varios modelos computacionales, tanto comerciales como con derechos reservados que fueron formulados para trabajar en la dirección principal del flujo (1D). Este tipo de modelos, a pesar del desarrollo computacional alcanzado a la fecha, aún se mantienen en uso debido a su facilidad de uso, bajos requisitos de hardware y pocos datos de calibración; sobre todo, para uso en Consultoría, en modelaciones de ríos, donde los modelos en 2 y 3 dimensiones no son necesarios y son mucho más costosos respecto a recursos de tiempo de máquina y personal.

Tabla 4. Modelos computacionales 1D

MODELO	TIPO FLUJO	SEDIMENTOS			EJECUTABLE
		FONDO	SUSPENDIDOS	COHESIVOS	
HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center)	No Permanente	X	X	-	DP
MOBED (Mobile Bed)	No Permanente	X	X	-	DR
IALLUVIAL (Iowa Alluvial)	Cuasi Permanente	X	X	-	DR
GSTARS (Generalized Sediment Transport Models for Alluvial River Simulation)	No Permanente	X	X	-	DP
EFDC1D (Environmental Fluid Dynamics Code)	No Permanente	X	X	X	DP

DP: Dominio público

DR: Derechos reservados

Fuente: (Thanos Papanicolaou et al., 2008)

4.2.1.2 Modelos 2D

A partir de la década de los 90's, existió una revolución respecto a la investigación en la modelación hidrodinámica y de transporte de sedimentos hacia la modelación en 2D. La gran mayoría de estos modelos computacionales se encuentran al alcance de la gran mayoría de la comunidad ingenieril, además que cada vez sus interfaces son más sencillas de manejar, razón por la cual, estos modelos son cada vez más de uso común. Estos modelos, en su gran mayoría, resuelven las ecuaciones de continuidad promediando la profundidad de la lámina de agua, así como las ecuaciones de no lineales de Navier – Stokes. Para el transporte de sedimentos se resuelve en general por medio de diferencias finitas la ecuación de balance de sedimentos(Thanos Papanicolaou et al., 2008). En la Tabla 5 se presentan las características de algunos modelos en 2D.

Tabla 5. Modelos computacionales 2D

MODELO	TIPO FLUJO	SEDIMENTOS			EJECUTABLE
		FONDO	SUSPENDIDOS	COHESIVOS	
SERATRA (Sediment and Radionuclide Transport)	No Permanente	X ^a	X ^a	X	DR
MOBED 2 (Mobile Bed 2D)	No Permanente	X	X	-	DR
MIKE 21	No Permanente	X ^a	X ^a	-	DR
IBER	No Permanente	X	X	-	DP
FAST 2D (Flow Analysis Simulation Tool)	No Permanente	X	X	-	DL
CCHE2D (The National Center for Computational Hydroscience and Engineering)	No Permanente	X	X	X	DR/DP

DP: Dominio público

DR: Derechos reservados

DL: Distribución limitada

a: Tratados como carga total sin separación

Fuente: (Thanos Papanicolaou et al., 2008)

4.2.1.3 Modelos 3D

A medida que avanza la tecnología respecto a máquinas de cómputo; como por ejemplo en la velocidad de procesamiento, cómputos paralelos y capacidad de almacenamiento y clasificación de datos, los modelos 3D cada vez están ganando más acogida; sobre todo en muchas aplicaciones de la ingeniería en las cuales los modelos 2D y 1D no son adecuados para describir el flujo; como por ejemplo el flujo alrededor de elementos como pilas o cercano a estructuras hidráulicas(Thanos Papanicolaou et al., 2008). En la Tabla 6 se presentan las características de algunos modelos en 3D.

Tabla 6. Modelos computacionales 3D

MODELO	TIPO FLUJO	SEDIMENTOS			EJECUTABLE
		FONDO	SUSPENDIDOS	COHESIVOS	
ECOMSED (Estuarine, Coastal and Ocean Model Sediment Transport)	No Permanente	X ^a	X ^a	X	DP
ROMS (Regional Ocean Modeling System)	No Permanente	X	X	-	DL
MIKE 3	No Permanente	X ^a	X ^a	X	DR
NAYSCUBE	No Permanente	X	X	X	DP
DELFT 3D (Delft Hydraulics)	No Permanente	X	X	X	DR
EFDC3D (Environmental Fluid Dynamics Code)	No Permanente	X	X	X	DP

DP: Dominio público

DR: Derechos reservados

DL: Distribución limitada

a: Tratados como carga total sin separación

Fuente: (Thanos Papanicolaou et al., 2008)

4.2.2. Selección de modelo

Para la selección del modelo a utilizar, se deben tener en cuenta varios factores como lo son:

- Naturaleza del fenómeno a estudiar.
- Capacidad de equipos de cómputo.
- Facilidad de calibración de los modelos.
- Calidad y cantidad de datos existentes

Una vez realizado un análisis de las ventajas y desventajas de utilizar modelos 1D, 2D o 3D, se llega a la conclusión, que, para el desarrollo del problema planteado en este trabajo de grado, la utilización de un modelo hidrodinámico y de transporte

de sedimentos en dos dimensiones es lo más adecuado, por las siguientes razones:

- Se descarta por completo la utilización de un modelo 1D, debido a que, por su naturaleza de formulación, su aplicabilidad en el fenómeno de turbulencia producido por la implantación de pilas en el lecho del cauce no es adecuada.
- No se posee el tiempo suficiente para la modelación y calibración un modelo 3D. Debido a que se pretende modelar el cauce del río Magdalena en una longitud considerable, como mínimo 5.0 km, los tiempos de modelación y calibración de un modelo de estas características toma demasiado tiempo. Por ejemplo, en la modelación realizada por el Laboratorio Las Flores mediante la aplicación del modelo MIKE21C, el tiempo de calibración del modelo fue superior a un año, teniendo inclusive, que intervenir el código del programa para poder describir de manera adecuada los fenómenos presentados en los últimos 20 km del río Magdalena.
- A pesar de que el fenómeno se produce por la inclusión de pilas en el lecho y que en las vecindades de este tipo de estructuras el flujo posee componentes importantes en la vertical, la idea es poder definir las variaciones del lecho no a nivel local en el puente, si no por el contrario, a nivel general aguas abajo del mismo, en la zona donde se desarrolla toda la actividad portuaria, la cual se encuentra aproximadamente a 5.0 km de la ubicación del puente.

Al verificar las opciones de programas comerciales presentados en la Tabla 5, se selecciona el modelo IBER 2D, por tener una interfaz de usuario muy amigable, se un programa de uso público, incluir los módulos hidrodinámicos y de transporte de sedimentos en el mismo paquete y por tener conocimiento previo en la utilización del programa.

4.3. Estudios Previos Zona de Estudio

En la zona de interés, la cual corresponde al sitio de ubicación del nuevo puente Pumarejo y hasta 5.0 km aguas abajo del mismo, sector donde se encuentran las zonas portuarias se han realizado varios estudios para el Instituto Nacional de Vías, entidad encargada del manejo del río Magdalena como corredor navegable. En la Tabla 7 se presenta un resumen de los estudios existentes en este sector, la entidad que realizó el estudio y los modelos hidrodinámicos y de transporte de sedimentos utilizados.

Al respecto, y como conclusión del análisis realizado, se encontró, que a pesar de que los estudios realizados son bastante completos, inclusive con modelaciones en tres dimensiones, sólo dos (2) de ellos llega hasta el sitio de implantación del puente; y sólo uno de ellos realiza la modelación sedimentológica incluyendo los puentes. Sin embargo, este último está en proceso de entrega de Contrato, por lo tanto, no es posible tener acceso al mismo.

Tabla 7. Estudios previos realizados zona de estudio

DOCUMENTO No.	NOMBRE DOCUMENTO	FECHA	REALIZADOR	OBSERVACIONES
1	Actualización del Diseño Estructural de las Obras Fluviales para la Profundización del Canal de Acceso a los Terminales Portuarios de Barranquilla – Río Magdalena	nov-02	ROYAL HASKONING	Obras de profundización, posee geomorfología de la zona general, no posee modelos hidráulicos, sólo socavación
2	Asesoría para la Identificación de las Acciones y Definición de la Gradualidad de la Implementación y Realización del Diseño y Evaluación Económica Financiera de las Obras que Garanticen la Navegabilidad en el Canal de Acceso a las Instalaciones Portuarias de Barranquilla	nov-03	CONSORCIO SIGLO XXI	Modelación hidráulica por medio del programa RMA2 y modelación sedimentológica en programa SED2D-WES. 2.5 km aguas abajo puente pumarejo hasta bocas de ceniza. calibración a partir de datos del laboratorio las flores

DOCUMENTO No.	NOMBRE DOCUMENTO	FECHA	REALIZADOR	OBSERVACIONES
3	Informe Final Estudios e Investigaciones en el Canal Navegable de Acceso al Puerto de Barranquilla entre Bocas de Ceniza (K0) y Puente Pumarejo (K22)	oct-05	UNIVERSIDAD DEL NORTE	Modelación hidráulica y sedimentológica mediante programa YUMA HS-2D. No incluy análisis de afectación de las pilas del puente.
4	Obras de Profundización Canal de Acceso al Puerto Barranquilla	dic-07	MOFFATT & NICHOL	Modelo tridimensional de los últimos 20 km río programa Delft3d. modelo sedimentológico fórmula de van Rijn
5	Servicio de Evaluación Científica y Tecnológica a INIVAS en Desarrollo de la Ejecución de las Obras de Profundización a 40 pies del Canal Navegable de Acceso al Puerto de Barranquilla	jul-08	UNIVERSIDAD DEL NORTE	Modelación matemática con MIKE 21c se utilizo malla de cálculo de estudio Moffatt & Nichol. modelo hidráulico en general, no sedimentológico
6	Contrato 2200 – Diciembre 2011 para la complementación de los estudios y diseños definitivos (fase III) para la Solución Integral del paso sobre el Río Magdalena en Barranquilla. Volumen VII Estudio de Hidrología, Hidráulica y Socavación.	sep-14	GERMÁN MONSALVE SÁENZ	Estudio de hidrología, hidráulica y socavación mediante modelo 1D. No incluye análisis sedimentológico.
7	Estudios y Diseños Mejoramiento en la Infraestructura y Navegación del Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla hasta el Sector de PIMSA	mar-19	CONSORCIO ESTUDIO CANAL BARRANQUILLA	Modelación matemática con IBER 2D del caudal dominante. Se verifica la posible afectación por sedimentación de las pilas del nuevo puente Pumarejo. El documento es privado, sólo se conoce parte de las conclusiones.

Capítulo 5 Modelación Computacional

5.1. Información Existente

La presente investigación se realizó a partir de información primaria, recolectada por entidades tanto gubernamentales como privadas el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA, el Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales IDEHA, la Universidad del norte de Barranquilla, la Asociación Portuaria de Barranquilla y Termobarranquilla Empresa de Servicios Públicos TEBSA S.A. E.S.P.

5.1.1. Información hidrométrica y de niveles

La información hidrométrica y de niveles proviene de dos estaciones en específico:

- La estación limnimétrica Calamar, con registro de caudales y niveles desde el año 1969 hasta el año 2020. Información solicitada en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.
- La estación limnigráfica TEBSA, con registro de niveles desde el año 2000 hasta el año 2012. Información obtenida de (Monsalve, 2014)

La ubicación de las estaciones mencionadas previamente se encuentra en la Figura 9, en la cual, también se localiza el polígono de la zona delimitada de estudio. Así mismo, en el Anexo 1 se incluye la información adquirida.

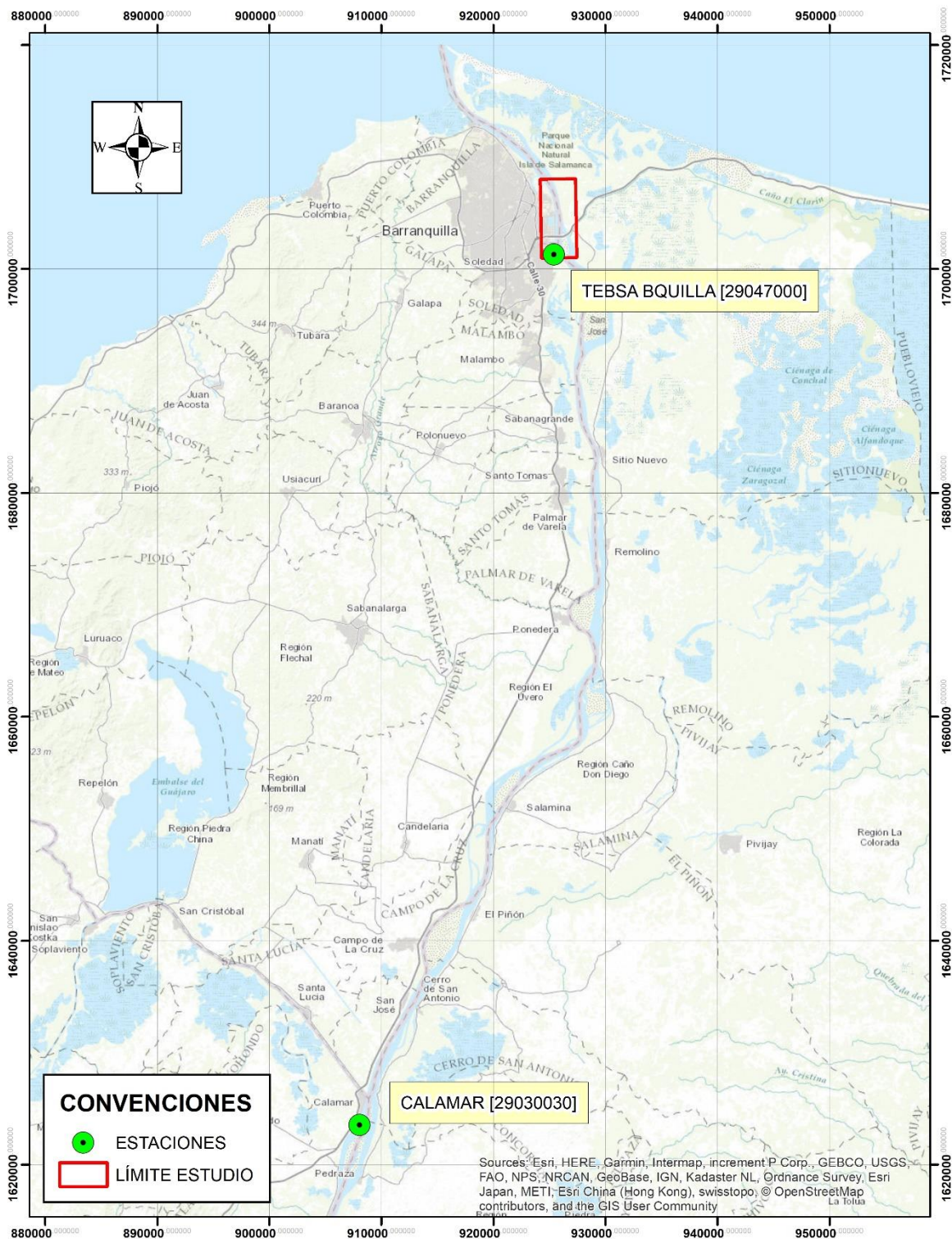


Figura 9. Ubicación estaciones hidrométricas y de niveles. Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Información batimétrica

La información batimétrica de la zona de estudio fue adquirida de los estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA y el Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales IDEHA para la actualización de la caracterización hidráulica y sedimentológica del río Magdalena, en el canal navegable de acceso hasta el puente Pumarejo.

La información corresponde a batimetrías del río Magdalena, realizadas por medio de sonda ODOM ECHOTRAC CVM (200 KHz), montada sobre una embarcación que realiza la toma de profundidades del río en cada punto de toma. La información adquirida corresponde a las campañas de levantamientos realizadas entre los años 2006 a 2017, de los cuales se posee la información en archivos editables.

Es de anotar, que no todos los meses se realizaron levantamientos topobatimétricos del cauce, ni tampoco, todos los meses se realizaron levantamientos aguas arriba del puente Pumarejo. Por lo tanto, en la se presenta un resumen de la información tomada en campo, indicando si posee levantamientos del sector III² únicamente, o si incluye también información aguas arriba del puente Pumarejo, hasta el sector de PIMSA.

En la Tabla 8, se incluye un resumen de la información batimétrica obtenida para los estudios, indicando para mes de cada año, si existe información batimétrica, y si esta contiene la información del sector III (S3) y el sector de Pimsa (P); mientras que en el Anexo 2 se incluye la información batimétrica base del estudio en formato ACAD hasta el año 2014 y en formato XYZ entre el año 2014 y 2017.

² “Sector III. Entre el anclaje del Dique Direccional (K14) y el puente Pumarejo (K22). Este sector se caracteriza por una curva exterior hacia la derecha” (Alvarado, 2008)

Tabla 8. Resumen de información batimétrica disponible

AÑO	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		
	S3	P	S3	P	S3	P	S3	P	S3	P	S3	P	S3	P	S3	P	S3	P	S3	P	S3	P	S3	P	
2006	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	
2007	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
2008	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	
2009	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
2010	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	
2011	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO	
2012	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
2013	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
2014	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
2015	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO
2016	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	
2017	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	

Fuente: Elaboración propia

Notas: S3: Sector tres, incluye levantamiento aguas abajo del puente Pumarejo (K22) hasta K14.

P: Sector Pimsa, incluye levantamiento aguas arriba del puente Pumarejo.

5.1.3. Información sedimentológica

La información sedimentológica se toma del informe “ACTUALIZACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA Y SEDIMENTOLÓGICA DEL RÍO MAGDALENA PARA LOS ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN EL CANAL NAVEGABLE DE ACCESO AL PUERTO DE BARRANQUILLA ENTRE BOCAS DE CENIZA (K0) Y PUENTE PUMAREJO (K22), año 2007”, los datos que se obtienen para la caracterización sedimentológica del cauce son:

- Granulometría del canal de acceso entre el K17 a K22, correspondiente a la zona de estudio, para las campañas de toma de muestras realizadas entre octubre y noviembre de 2004, enero de 2005 y marzo de 2005. En la Tabla 9 a la Tabla 12 se presentan los resultados obtenidos en cada una de las campañas realizadas.
- Curva de calibración de caudal líquido versus medición de transporte de sedimentos en suspensión. En la Figura 10 se presenta la curva extraída del informe.

Tabla 9. Río Magdalena – K22 a K17. Variación Granulometrías de Lecho noviembre 2004

SECCIÓN	ABSCISA	DIÁMETRO (micras)		
		D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
S1	K21+400.00	180	243	315
S2	K20+200.00	162	220	280
S3	K19+100.00	159	260	376
S4	K18+250.00	142	205	610
S5	K17+200.00	136	210	315

Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA, 2007)

Tabla 10. Río Magdalena – K22 a K17. Variación Granulometrías de Lecho enero 2005

SECCIÓN	ABSCISA	DIÁMETRO (micras)		
		D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
S1	K21+400.00	180	243	315
S2	K20+200.00	162	220	280
S3	K19+100.00	170	246	340
S4	K18+250.00	171	261	540
S5	K17+200.00	153	260	450

Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA, 2007)

Tabla 11. Río Magdalena – K22 a K17. Variación Granulometrías de Lecho marzo 2005

SECCIÓN	ABSCISA	DIÁMETRO (micras)		
		D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
S1	K21+400.00	150	203	247
S2	K20+200.00	177	376	680
S3	K19+100.00	140	215	370
S4	K18+250.00	138	201	308
S5	K17+200.00	210	360	480

Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA, 2007)

Tabla 12. Río Magdalena – K22 a K17. Variación Granulometrías de Lecho Promedio

SECCIÓN	ABSCISA	DIÁMETRO (micras)		
		D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
S1	K21+400.00	170	230	292
S2	K20+200.00	167	272	413
S3	K19+100.00	156	240	362
S4	K18+250.00	150	222	486
S5	K17+200.00	166	277	415
PROMEDIO		162	248	394

Fuente: Elaboración propia

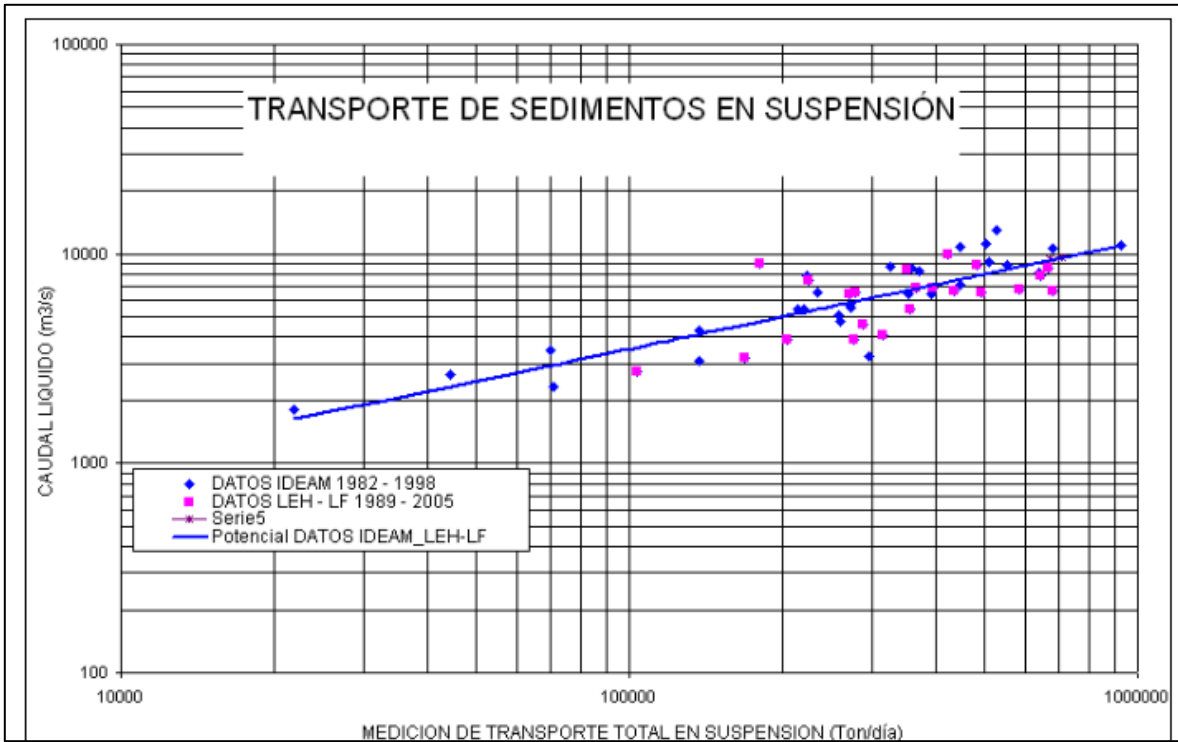


Figura 10. Curva calibración de transporte de sedimentos en suspensión. Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA, 2007)

5.2. Delimitación espacial del estudio

La delimitación espacial del problema se realiza a partir del análisis de diferentes variables, entre las cuales se encuentran la cobertura de la información topográfica existente, la ubicación de las terminales portuarias cercanas al nuevo puente Pumarejo, ubicación estaciones de medición de niveles, la capacidad del equipo de cómputo, entre otras.

5.2.1. Cobertura información batimétrica

La información batimétrica de la zona de estudio proviene de los levantamientos realizados por la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA del canal navegable del río. Para esto, CORMAGDALENA divide el cauce en cuatro sectores, así:

- SECTOR I. Entre el muz del Tajamar Occidental (K0) y Las Flores (K8). Este sector se caracteriza por una curva exterior hacia la izquierda protegida con el Dique Boyacá y Tajamar Occidental con la presencia de la desembocadura del río en el mar Caribe. En este sector se localiza el Dique Interior de Contracción. En los primeros 2.5 Km de este sector, se concentran actualmente los dragados de mantenimiento, para permitir el ingreso de embarcaciones hasta de 9.1 m (30 pies) de calado. Entre el K2.5 y K7.5, se presentan un canal navegable con profundidades permanentes mayores a 12 m.
- SECTOR II. Entre Las Flores (K8) y el anclaje del Dique Direccional (K14). Este sector se caracteriza por la presencia del “cruce” entre dos curvas sucesivas, donde se ubican en la margen izquierda los muelles de Cementos del Caribe, Monómeros Colombo Venezolanos y Colterminales. En este sector se construyó en el transcurso de 1994, la estructura de estabilización del canal navegable, conocida como Dique Direccional (K13 – K14). Por efecto del Dique Direccional y la longitud del “cruce”, en este sector se vienen presentando desde 1999, restricciones a la navegación entre K7+500 y K11, donde se hace necesario la remoción de barras puntuales.
- SECTOR III. Entre el anclaje del Dique Direccional (K14) y el puente Pumarejo (K22). Este sector se caracteriza por una curva exterior hacia la derecha. En la margen izquierda en el K20+500 se encuentran el muelle de la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla - SPRB. Hacia aguas arriba entre K23+500 y el K21+000 se presenta una curva exterior hacia la izquierda, que hace parte del Brazo Izquierdo de la Isla Rondón, donde hoy cruza el 83% del caudal del río Magdalena. En este sector se presenta un canal navegable con profundidades permanentes mayores a 12 m.

- SECTOR IV. Entre el puente Pumarejo (K22) y el puerto de PIMSA (K39). Este sector se caracteriza por una curva exterior hacia la izquierda entre K23+500 y el K21+000, que hace parte del Brazo Izquierdo de la Isla Rondón, donde hoy cruza el 83% del caudal del río Magdalena, también se encuentra el sector de la isla Cábica entre el K28+000 y el K35+000. En este sector se presentan más restricciones a la navegación, ya que el canal navegable es más inestable, en general por las modificaciones morfológicas de la isla Cábica, por lo tanto, el tamaño de embarcaciones permitido es menor.

En general, los levantamientos batimétricos realizados, se concentran entre los sectores I a III, el cual corresponde al canal navegable principal; es decir, entre el K0 (desembocadura en Bocas de Ceniza) y el K22 (puente Pumarejo, sin incluirlo). Para el sector IV se realizan levantamientos batimétricos con una menor frecuencia y precisión (menor número de toma de datos y mayor separación entre los mismos), esta situación se puede observar en la Tabla 8 y el Anexo 2.

En la Figura 11, se puede observar los levantamientos batimétricos realizados por CORMAGDALENA para los meses de febrero y octubre del año 2010, en los cuales se pueden identificar los sectores previamente definidos, así como la definición del canal principal, y las restricciones de profundidad que se observan hacia aguas arriba del puente Pumarejo.

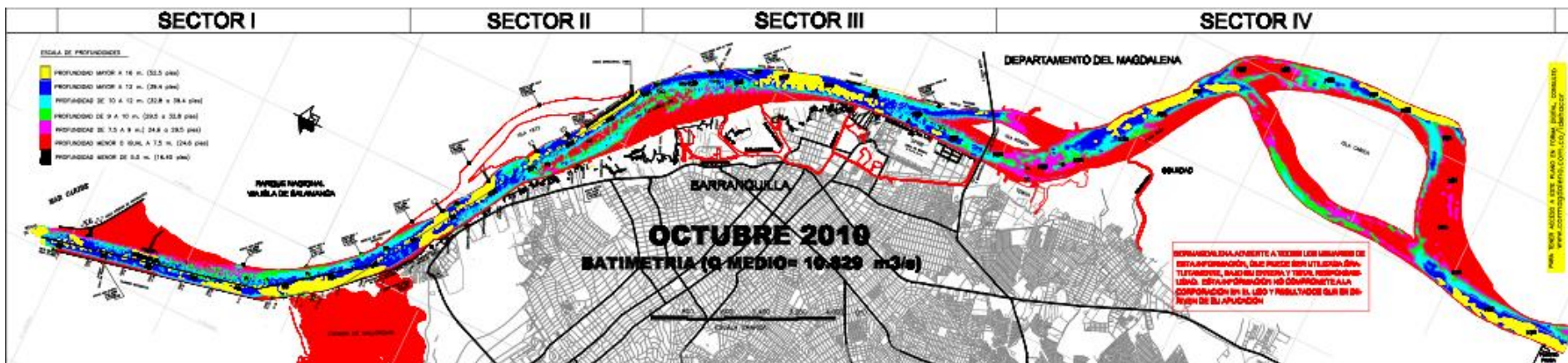
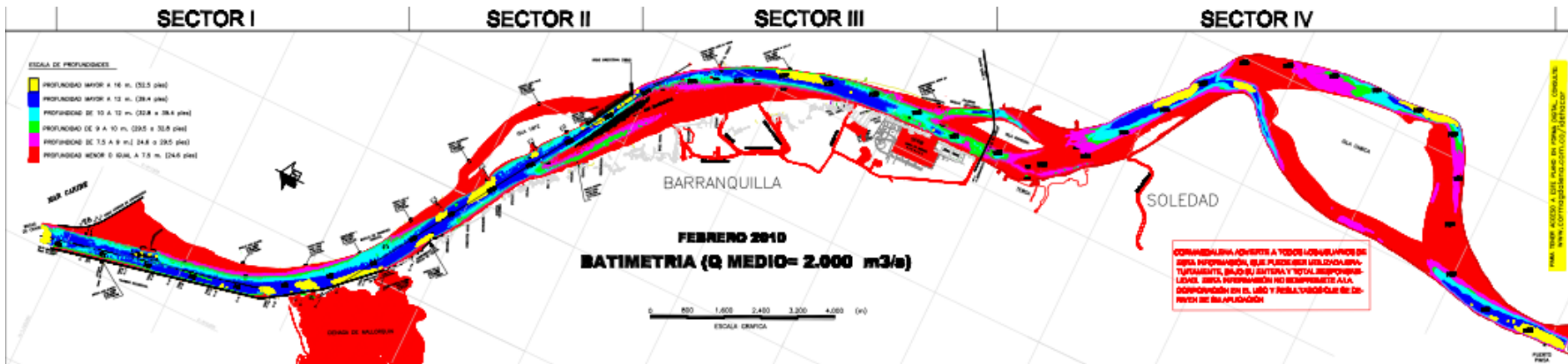


Figura 11. Levantamientos batimétricos río Magdalena Sector I a IV Fuente: CORMAGDALENA

5.2.2. Ubicaciones terminales portuarias

El río Magdalena, por sus características especiales de desembocadura al mar, tiene la posibilidad de ser un canal navegable por buques de gran calado. Es por este motivo, que se han establecido diferentes puertos sobre su cauce, convirtiendo así a Barranquilla en Distrito Especial, Industrial y Portuario.

La gran mayoría de puertos importantes y empresas afines que ejecutan sus labores sobre el río Magdalena se encuentran agremiadas desde el año de 1994, por medio de la Asociación de Puertos del Atlántico ASOPORTUARIA, la cual agrupa terminales portuarias como COMPAS S.A., Palermo Sociedad Portuaria, PIMSA, Sociedad Portuaria del Caribe, PORTMAGDALENA, RIVERPORT, Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla, entre otras. La ubicación de estas terminales se presenta en la Figura 12.



Figura 12 Ubicación Terminales Portuarias Fuente: (ASOPORTUARIA, n.d.)

Se observa que las terminales portuarias más cercanas al puente Pumarejo corresponden a la SP Regional de Barranquilla SPRB, SP Atlantic Coal, SP Frigogan, SP La Loma, Palermo SP, Sp del Norte y SP Riverport. Estas sociedades se ubican entre el K17+000 y el K21+000 del canal de acceso, sobre el denominado Sector III.

5.2.3. Ubicación estaciones medidoras de niveles

Según la información presentada en el numeral 1, se posee información de niveles en dos estaciones, la primera de ellas es la estación Calamar, la cual se ubica unos 90 km aguas arriba del sitio del puente Pumarejo, quedando por fuera de la zona de estudio y la otra corresponde a la estación TEBSA, la cual se ubica en la margen izquierda del río, sobre la Termoelectrica que posee el mismo nombre, en cercanías del K23+000, aproximadamente 1.0 km aguas arriba del sitio de ubicación del puente Pumarejo, en la Figura 13 se presenta su localización específica.



Figura 13. Ubicación Estación de Niveles TEBSA Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Capacidad equipos de cómputo

Para el desarrollo de la modelación computacional, se cuenta con dos equipos de cómputo:

- Equipo personal portátil DELL Inspiron 15 7000 Gaming, Procesador Intel(R) Core (TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz 2.81 GHz, Memoria RAM 16 GB y Tarjeta de video NVIDIA GEFORCE GTX1060 16GB DDR5.
- Equipo propiedad de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito Workstation Lenovo Thinkstation P310 Signature Edition, Procesador Intel(R) Xeon (R) CPU E3 – 1225 v5 @ 3.30GHz 3.31 GHz Tarjeta de video NVIDIA QUADRO M2000 16GB DDR5.

Los equipos de cómputo poseen una muy buena capacidad de procesamiento, sin embargo, se trata de la modelación de un río de aproximadamente 600 m de ancho y 39 km de longitud, si se toma toda la información topográfica que se tiene. Por lo tanto, el área de modelación resultaría en 23.4 millones de metros cuadrados. Al realizar el mallado de una superficie tan grande, el tiempo de cómputo necesario para poder realizar los cálculos hidrodinámicos y sedimentológicos necesarios con los equipos disponibles serían demasiado grandes.

5.2.5. Limite definido

Teniendo en cuenta lo descrito previamente, el límite espacial del proyecto queda definido, así:

- Se define una longitud hacia aguas abajo del puente Pumarejo de 5.0 km, con la cual se cubre la ubicación de las terminales portuarias cercanas, hasta Riverport SP.
- Se define una longitud hacia aguas arriba del puente Pumarejo de 1.8 km, con la cual se incluye la ubicación de la estación limnigráfica TEBSA.

- Se limita la información batimétrica a la levantada mediante sondeo del cauce para cada año, sin incluir información de las márgenes o bancas por ausencia de esta.

En la Figura 14, se presenta la delimitación espacial del proyecto.

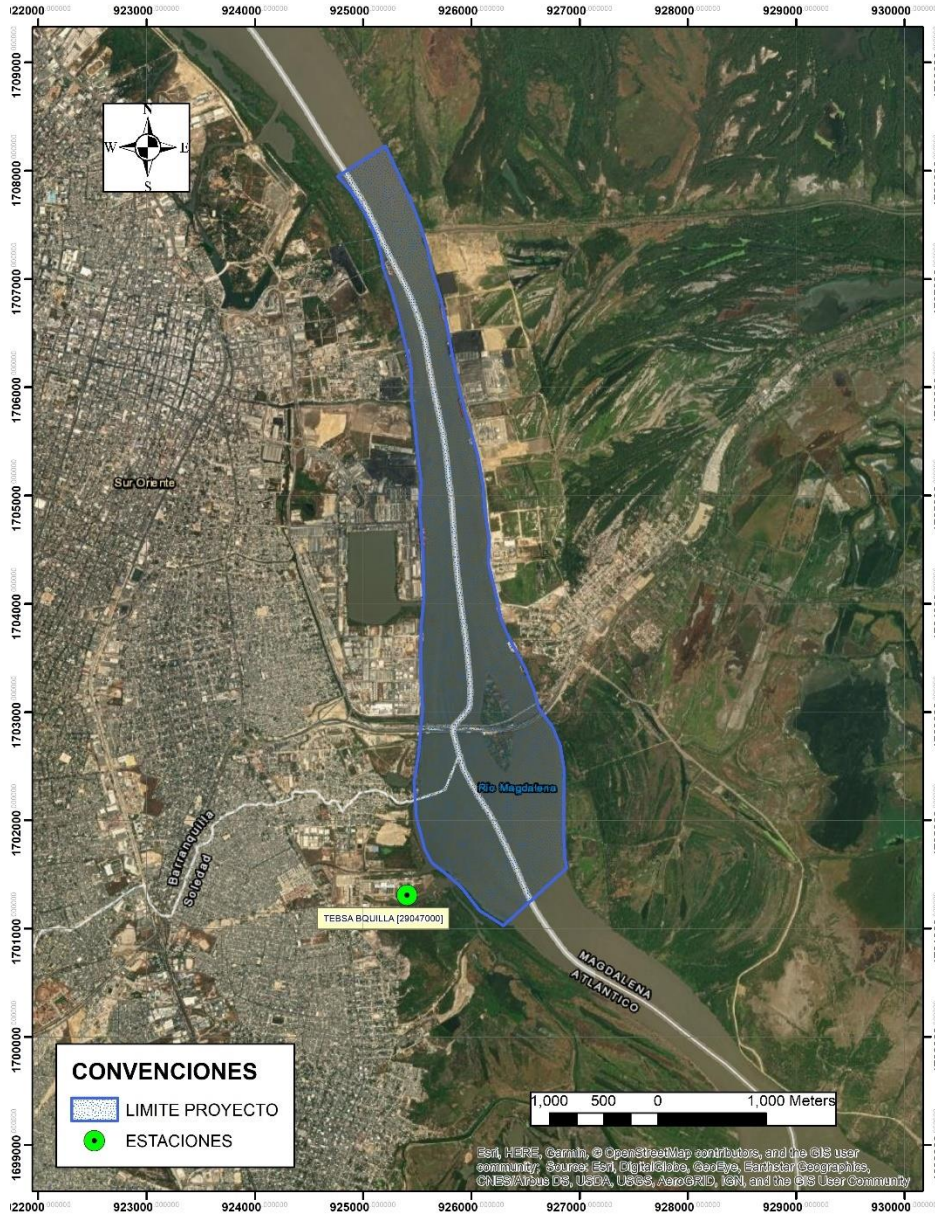


Figura 14. Ubicación Limite de Estudio Fuente: Elaboración propia

5.3. Calibración Hidrodinámica (HEC RAS)

La calibración hidrodinámica de un modelo tiene como objetivo definir el coeficiente de rugosidad de Manning, de tal forma que los resultados de niveles de agua obtenidos en el modelo computacional se ajusten de la mejor manera posible a datos medidos en campo. Para el caso de la presente modelación se poseen los datos de niveles de la estación limnigráfica TEBSA desde enero del año 2000 hasta mayo del año 2012.

Sin embargo, una de las limitaciones que se poseen al realizar un modelo de tal magnitud, es el tiempo de cálculo, ya que con base en las diferentes pruebas de modelación realizadas con el modelo IBER 2D, se encontró que, en el mejor de los casos, con una malla de cálculo adecuada, el tiempo de modelación correspondía al lapso de la ventana definida. Es decir que, si desea modelar un hidrograma con datos de 1 año de caudales, el tiempo de modelación es del mismo orden, lo cual queda por fuera del alcance de la presente tesis de Maestría.

Con el fin de simplificar este proceso, se toma la decisión de realizar la calibración hidrodinámica del coeficiente de rugosidad de Manning a partir de modelaciones en flujo no permanente y una sola dimensión, por medio del conocido programa HEC RAS del US Army Corps of Engineers, tomando como base la siguiente afirmación: *“Respecto a la sensibilidad de los modelos al parámetro de rugosidad se puede concluir que en general la sensibilidad del modelo IBER fue menor a la del modelo HEC-RAS, aun así la predicción en la lámina de agua de respuesta de los dos modelos es muy similar”* (Sierra, 2015).

5.3.1. Límite temporal de modelación

A pesar de que se posee información de calibración de niveles desde enero del año 2000 hasta mayo del año 2012, la información batimétrica con la que se cuenta inicia desde el año 2006, tal y como se presenta en la Tabla 8, Por lo tanto, la ventana de tiempo de la modelación estaría restringida entre los años 2006 a 2012.

Sin embargo, la información batimétrica del año 2006 no cuenta con datos del sector IV, aguas arriba del puente Pumarejo y donde se encuentra la estación de medición de niveles de TEBSA, por lo que se debe descartar este año de la ventana de tiempo. Del año 2007 no se cuenta con información batimétrica, razón por la cual, este año también queda descartado. Finalmente, el año 2012 solo posee datos de niveles hasta el 7 de mayo de 2012, por lo tanto, se define como ventana de cálculo el periodo completo entre el 01 de enero de 2008 hasta el 31 de diciembre del año 2011.

5.3.2. Condiciones fronteras

Para cada tramo de un río hay N nodos computacionales que contienen N-1 celdas distintas. Para estas celdas 2N-2 ecuaciones de diferencias finitas pueden ser resueltas. Debido a que hay 2N incógnitas (ΔQ y Δz para cada nodo), dos ecuaciones adicionales son necesarias. Estas ecuaciones son provistas por las condiciones de frontera de cada tramo, que para el caso de flujo sub-crítico, son requeridas en los extremos de aguas arriba y aguas abajo. (Brunner, 2016)

5.3.2.1 Condición frontera aguas arriba

Como condición frontera aguas arriba se incluye el hidrograma correspondiente a los caudales medios diarios registrados en la estación Calamar para los años 2008 a 2011. A pesar de que la estación Calamar se encuentra aproximadamente 90 km aguas arriba del sitio de proyecto, los datos allí registrados son considerados representativos.

Los caudales de Calamar no son corregidos por el caudal desviado por el canal del Dique hacia la bahía de Cartagena. Se estima que este caudal varía entre 150 m³/s, con caudales bajos, hasta 1000 m³/s para caudales muy altos. Aguas abajo de la bifurcación del canal del Dique se anticipa que no se presenta un aumento significativo del caudal en el tramo

entre Calamar y Bocas de Ceniza por la ausencia de tributarios importantes. (Alvarado, 2008).

Los hidrogramas para cada uno de los años de modelación definidos se encuentran en la Figura 15 a la Figura 18. Es de anotar que los años 2010 y 2011 correspondieron a años niña, cuyos caudales fueron de los más altos registrados a nivel histórico en esta estación.

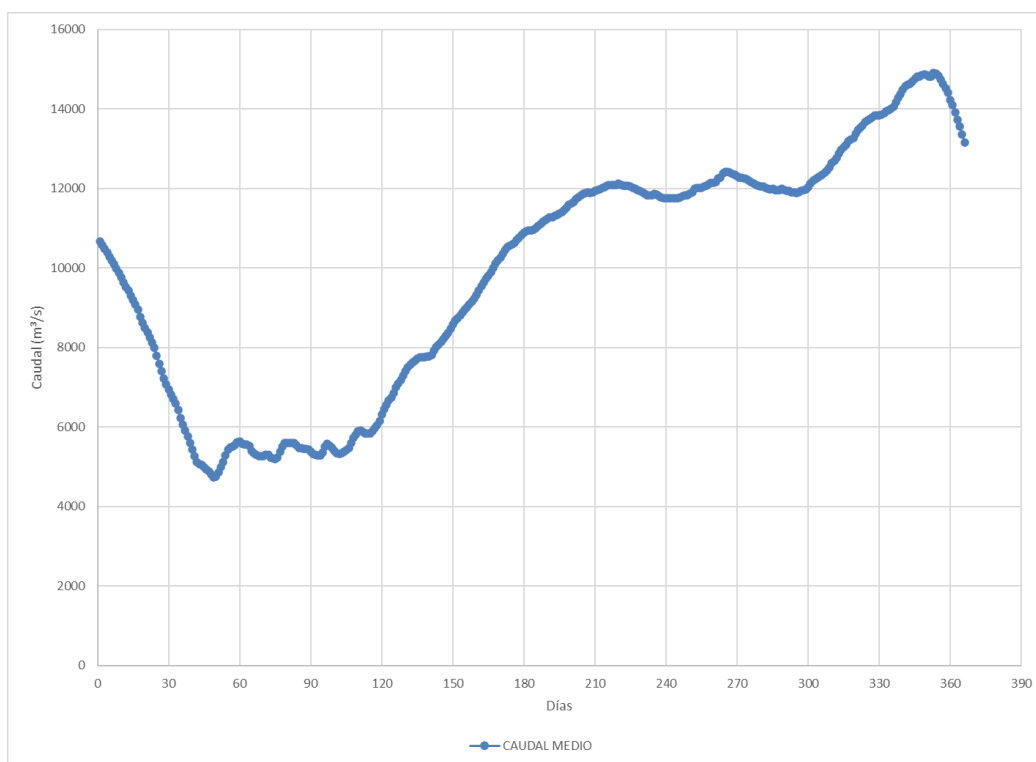


Figura 15. Hidrograma de caudales estación Calamar año 2008 Fuente: Elaboración propia

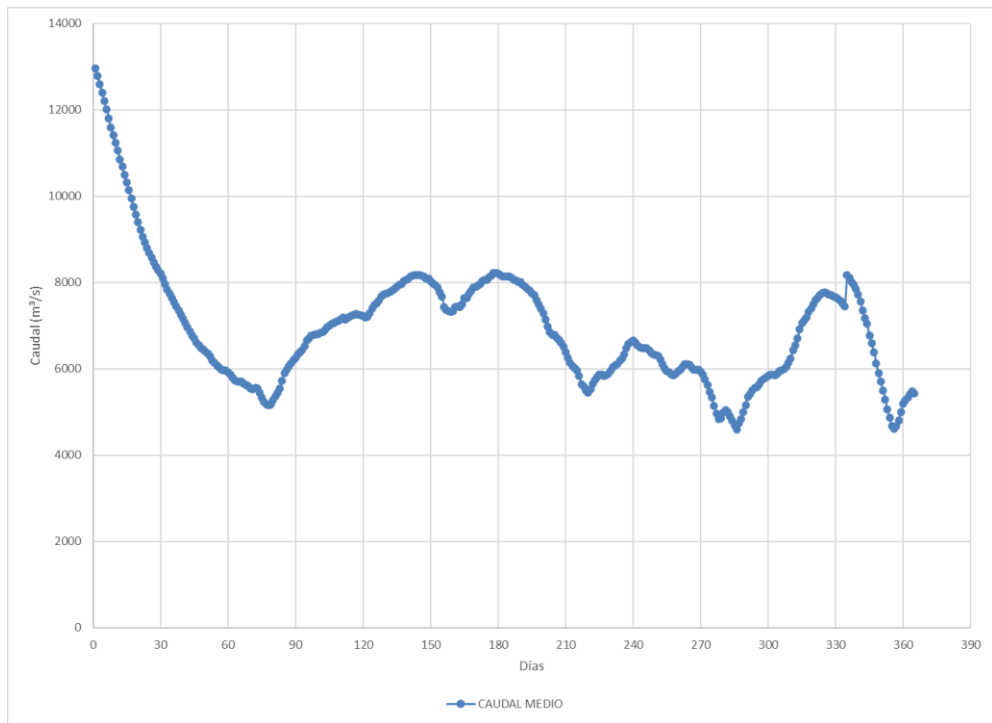


Figura 16. Hidrograma de caudales estación Calamar año 2009 Fuente: Elaboración propia

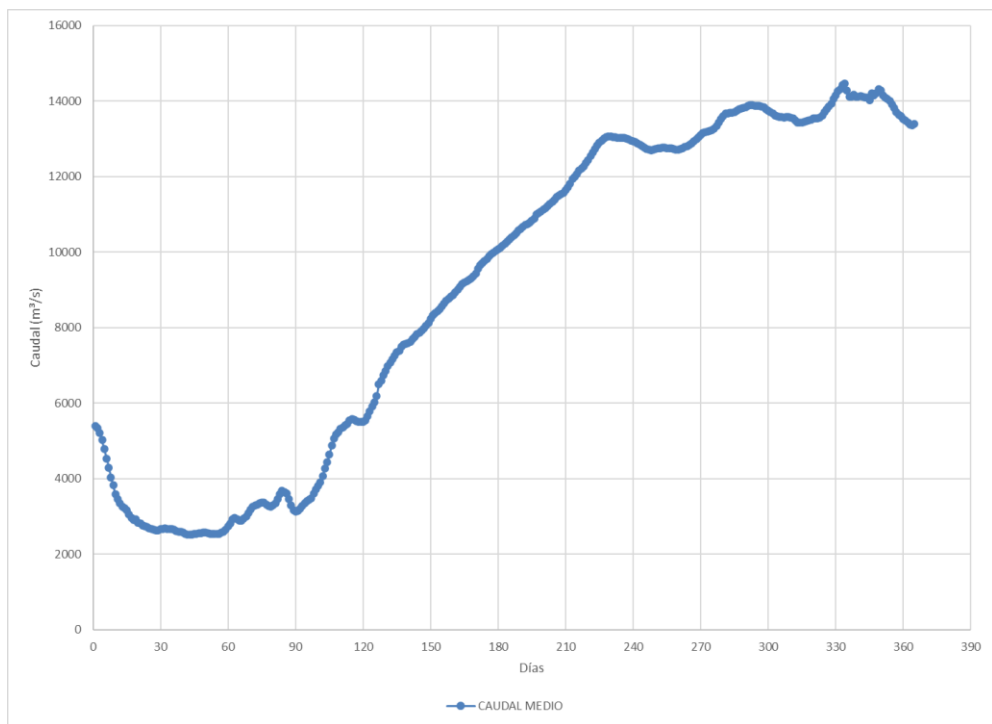


Figura 17. Hidrograma de caudales estación Calamar año 2010 Fuente: Elaboración propia

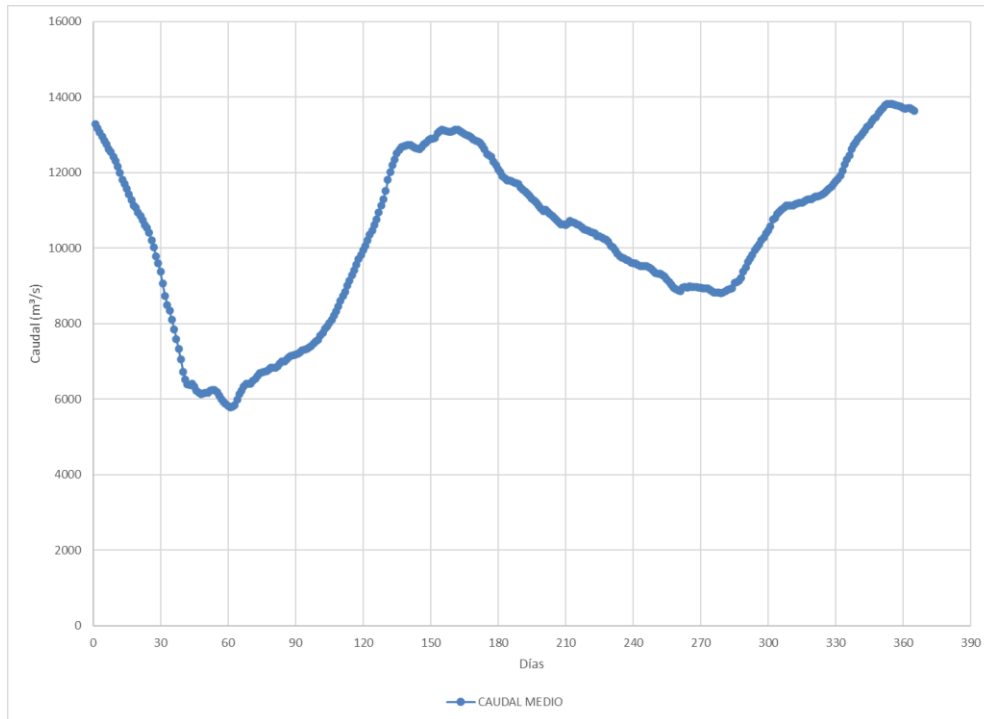


Figura 18. Hidrograma de caudales estación Calamar año 2011 Fuente: Elaboración propia

5.3.2.2 Condición frontera aguas abajo

Para la condición frontera aguas abajo, el programa HEC RAS acepta cuatro distintas condiciones, así:

- Profundidad crítica
- Profundidad normal
- Lámina de agua conocida
- Curva de calibración de caudales y niveles de la sección

Teniendo en cuenta que se posee un registro de niveles diarios para el periodo de análisis, tanto en la estación Calamar, como para la estación TEBSA, se puede determinar la pendiente hidráulica para cada día, y luego extrapolarla a la ubicación del límite aguas abajo del modelo, obteniendo el nivel de agua del contorno del modelo, de la siguiente manera:

$$Sh_i = \frac{Zc_i - Zt_i}{D_1}$$

Donde:

- Sh_i : Pendiente hidráulica del día i en m/m.
 Zc_i : Nivel de agua de la estación Calamar del día i en msnm.
 Zt_i : Nivel de agua de la estación TEBSA del día i en msnm.
 D_1 : Distancia entre la estación Calamar y la estación TEBSA en m.

$$Zb_i = Zt_i - Sh_i * D_2$$

Donde:

- Zb_i : Nivel de agua en el contorno aguas abajo del modelo del día i en msnm.
 Zt_i : Nivel de agua de la estación TEBSA del día i en msnm.
 Sh_i : Pendiente hidráulica del día i en m/m.
 D_2 : Distancia entre la estación TEBSA y el límite inferior del modelo en m.

Al respecto se aclara que la influencia de la marea en este sector no es de gran magnitud. “El efecto de la marea alcanza una amplitud del orden de 0.20 m en el sector del puente Pumarejo” (Alvarado, 2008). Por lo tanto, se considera que la posible variación en niveles es aceptable, comparado con el costo computacional de generar un modelo desde el K0 en bocas de ceniza. Los resultados de niveles obtenidos como condición de frontera aguas abajo para cada año se presentan en la Figura 19 a la Figura 22.

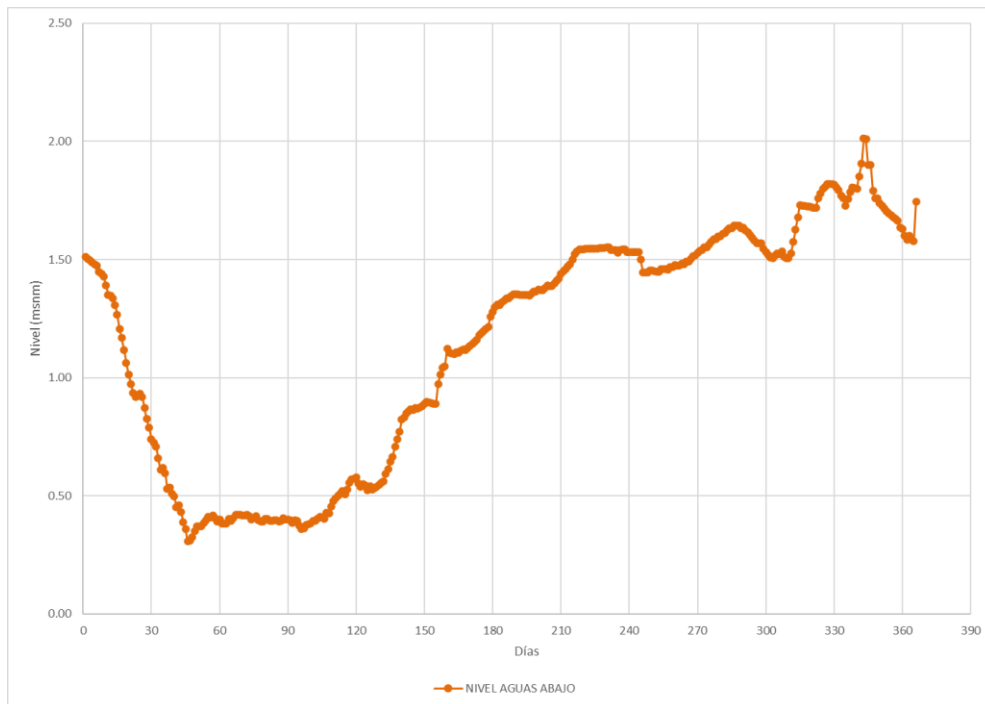


Figura 19. Niveles condición frontera aguas abajo modelo año 2008 Fuente: Elaboración propia

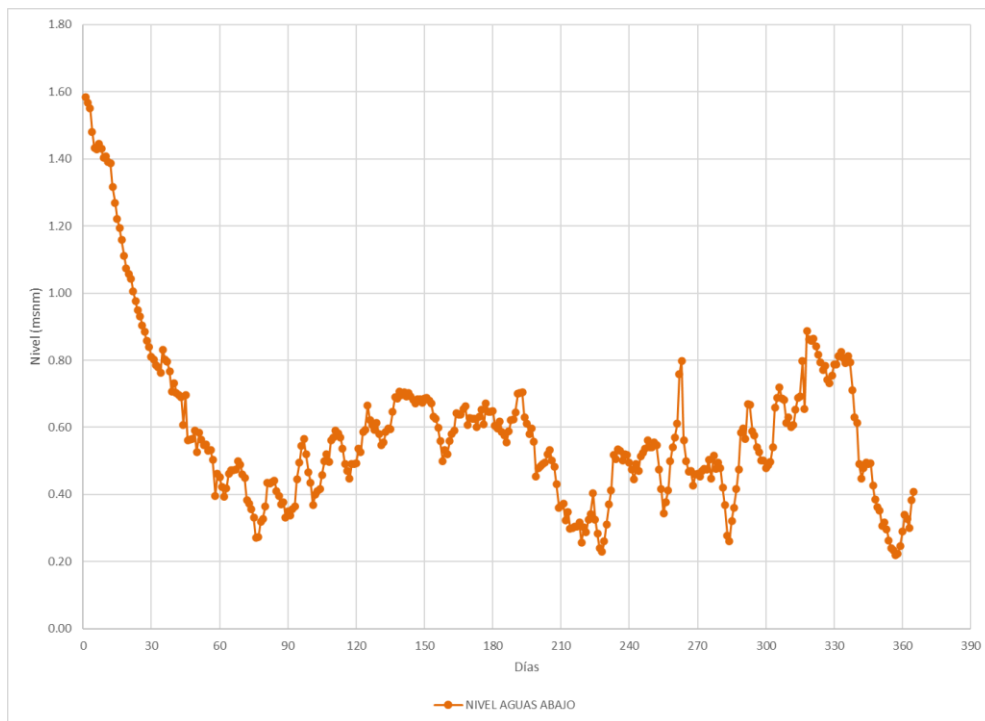


Figura 20. Niveles condición frontera aguas abajo modelo año 2009 Fuente: Elaboración propia

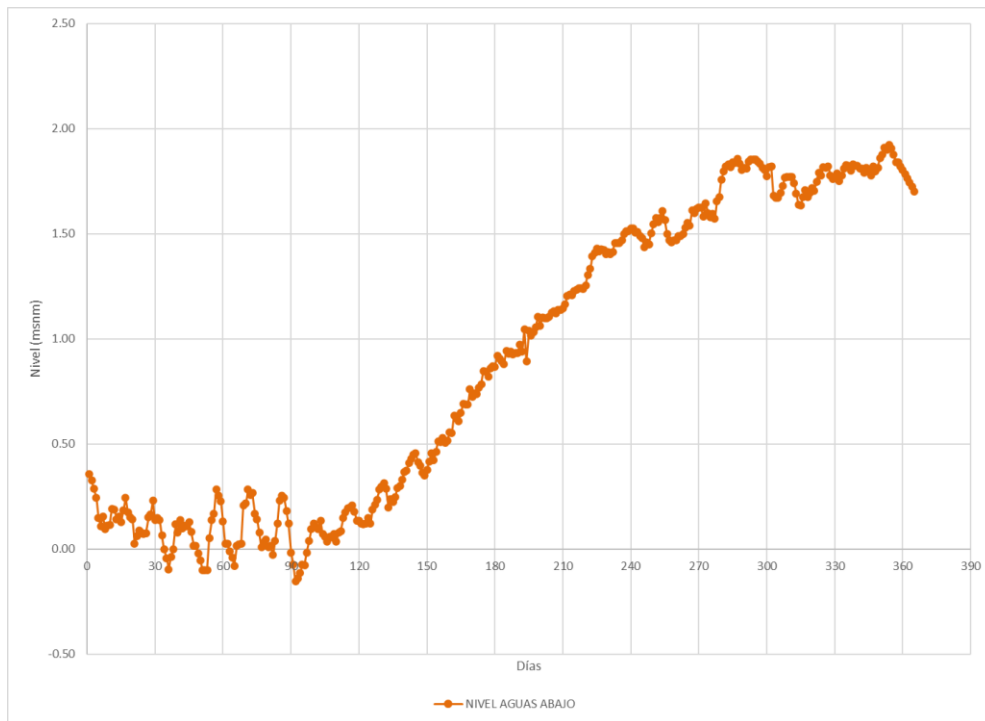


Figura 21. Niveles condición frontera aguas abajo modelo año 2010 Fuente: Elaboración propia

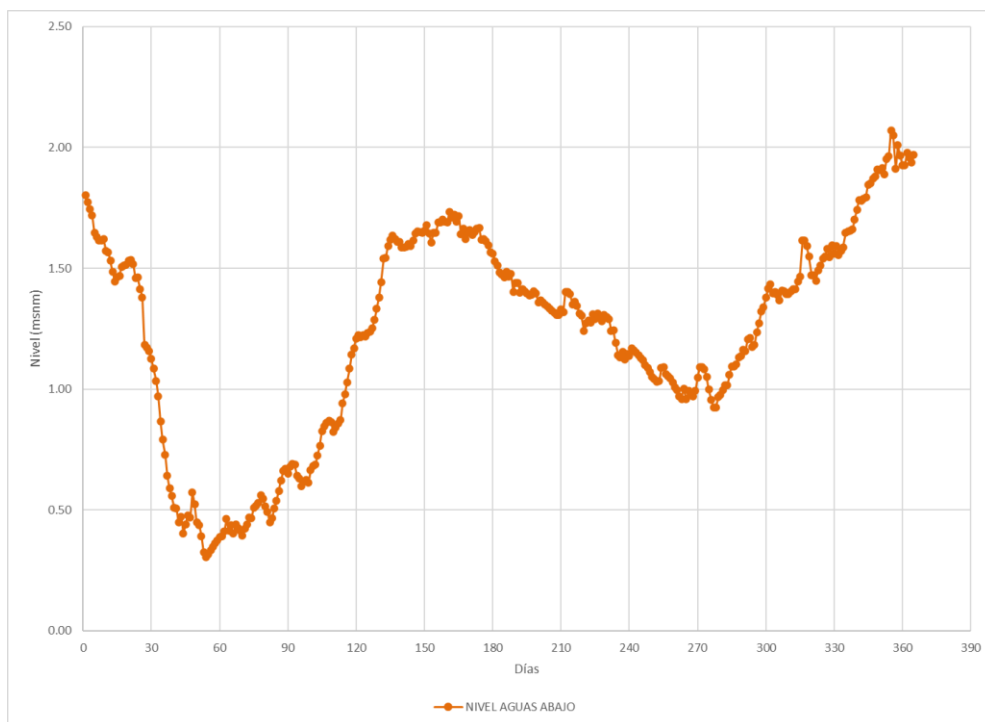


Figura 22. Niveles condición frontera aguas abajo modelo año 2011 Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Calibración coeficiente de rugosidad de Manning

Antes de realizar las modelaciones hidráulicas y el análisis de sensibilidad del coeficiente de rugosidad de Manning, se realiza una revisión bibliográfica de modelos hidráulicos realizados sobre el río Magdalena en la zona de proyecto y los respectivos coeficientes de rugosidad de Manning utilizados. Así mismo, por medio de relaciones empíricas que se basan en el diámetro del lecho, se realizan las respectivas aproximaciones, todo con el fin de tener un orden de magnitud y definir los límites del análisis de sensibilidad.

5.3.3.1 Estudios previos

De los estudios previos encontrados mediante la investigación realizada y cuyas modelaciones se realizaron utilizando coeficiente de rugosidad de Manning se encuentran:

- Asesoría para la Identificación de las Acciones y Definición de la Gradualidad de la Implementación y Realización del Diseño y Evaluación Económica Financiera de las Obras que Garanticen la Navegabilidad en el Canal de Acceso a las Instalaciones Portuarias de Barranquilla. Consorcio Siglo XXI, año 2003.
- Volumen No. VII: Estudio de hidrología, Hidráulica y Socavación Contrato 2200 – diciembre 2011 para la complementación de los estudios y diseños definitivos (fase III) para la Solución Integral del paso sobre el Río Magdalena en Barranquilla. Diseños elaborados por Germán Monsalve Sáenz, año 2014.

En la Tabla 13, se presentan los coeficientes de rugosidad de Manning adoptados en cada uno de los informes mencionados previamente.

Tabla 13. Coeficiente de rugosidad de Manning estudios previos

INFORME	AÑO	MODELO	COEFICIENTE RUGOSIDAD
Diseños Siglo XXI	2003	RMA2 / SED2DWES	0.022
GERMÁN MONSALVE	2014	HEC RAS 1D	0.024

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.2 Relaciones empíricas

Existen en la bibliografía un sinnúmero de relaciones empíricas para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning en función de los diámetros característicos del material del lecho (D_{50} o D_{90}) expresado en m, entre ellas se encuentran:

- Manning – Strickler

$$n = \frac{(2.5 * D_{50})^{1/6}}{25}$$

- Meyer – Peter & Muller

$$n = 0.038 * (D_{90})^{1/6}$$

- Simons y Senturk

$$n = 0.0389 * (D_{50})^{1/6}$$

- Subramanya

$$n = 0.047 * (D_{90})^{1/6}$$

- Bray

$$n = 0.0593 * (D_{90})^{0.179}$$

En la Tabla 14, se presentan los coeficientes de rugosidad de Manning estimados por medio de las metodologías empíricas presentadas, con base en diámetros característicos $D_{50} = 248$ micras y $D_{90} = 389$ micras. Se puede observar que los resultados obtenidos corresponden a coeficientes de rugosidad muy bajos, comparables incluso a materiales lisos y bien terminados. Esto se debe a que los diámetros que componen el lecho del río Magdalena corresponden a arenas finas.

Tabla 14. Coeficiente de rugosidad de Manning formulaciones empíricas

AUTOR	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
Manning - Strickler	0.012
Meyer - Peter & Muller	0.010
Simons y Senturk	0.010
Subramanya	0.012
Bray	0.013

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.3 Análisis de sensibilidad HEC – RAS

Con base en los coeficientes de rugosidad adoptados en estudios previos, y los resultados obtenidos de la aplicación de metodologías empíricas, se determina un rango de análisis del coeficiente de rugosidad de Manning entre 0.010 y 0.030, generando incrementos de +0.001, con el fin de evaluar la sensibilidad del coeficiente de rugosidad de Manning.

En la Figura 23 a Figura 26, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los años de modelación definidos, encontrando que no existe un solo valor de coeficiente de rugosidad de Manning que se ajuste a todo

el rango de niveles de agua. En el Anexo 3 se incluyen los modelos realizados en HEC RAS.

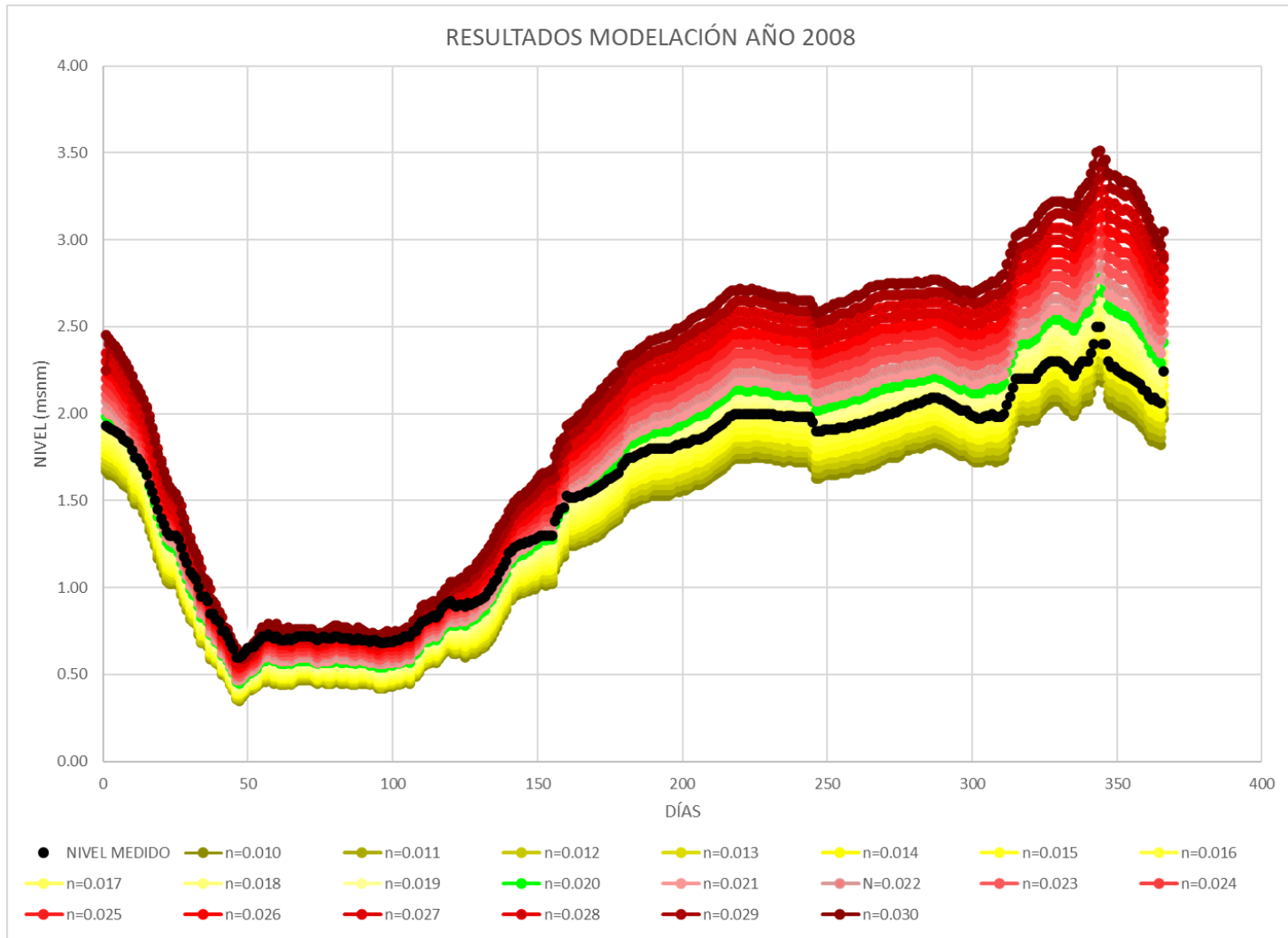


Figura 23. Resultados análisis de sensibilidad coeficiente de Rugosidad de Manning año 2008 Fuente: Elaboración propia

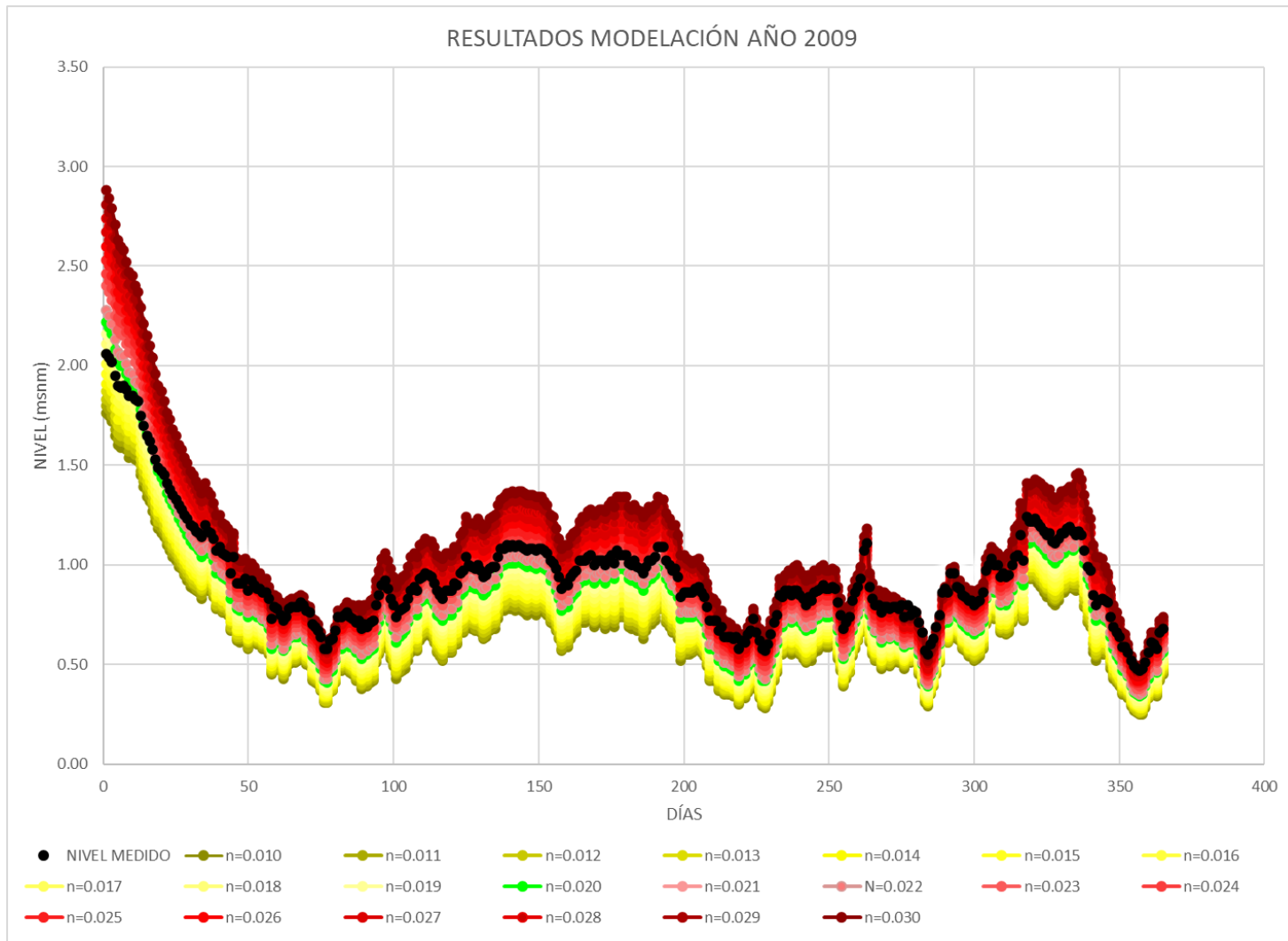


Figura 24. Resultados análisis de sensibilidad coeficiente de Rugosidad de Manning año 2009 Fuente: Elaboración propia

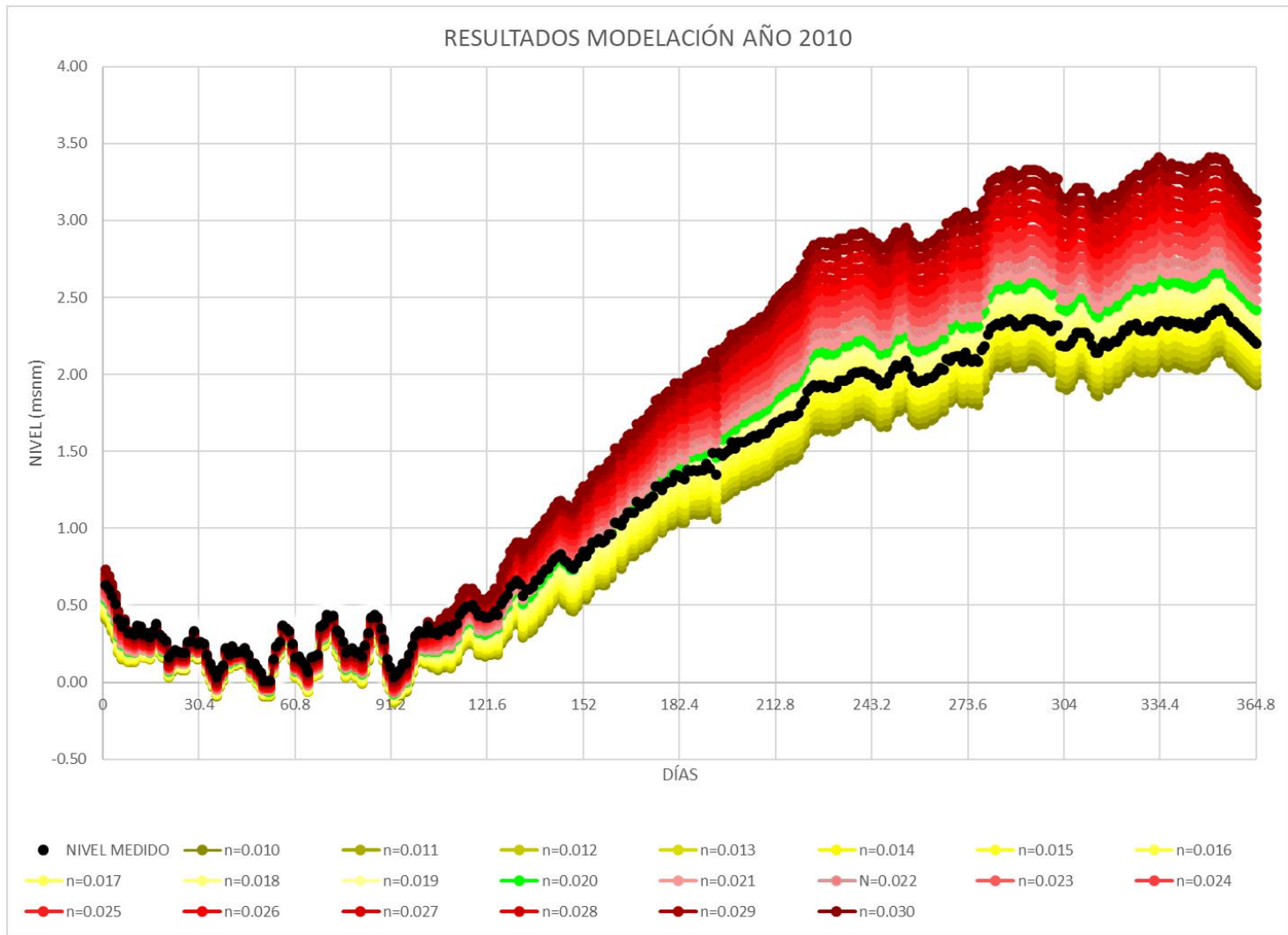


Figura 25. Resultados análisis de sensibilidad coeficiente de Rugosidad de Manning año 2010 Fuente: Elaboración propia

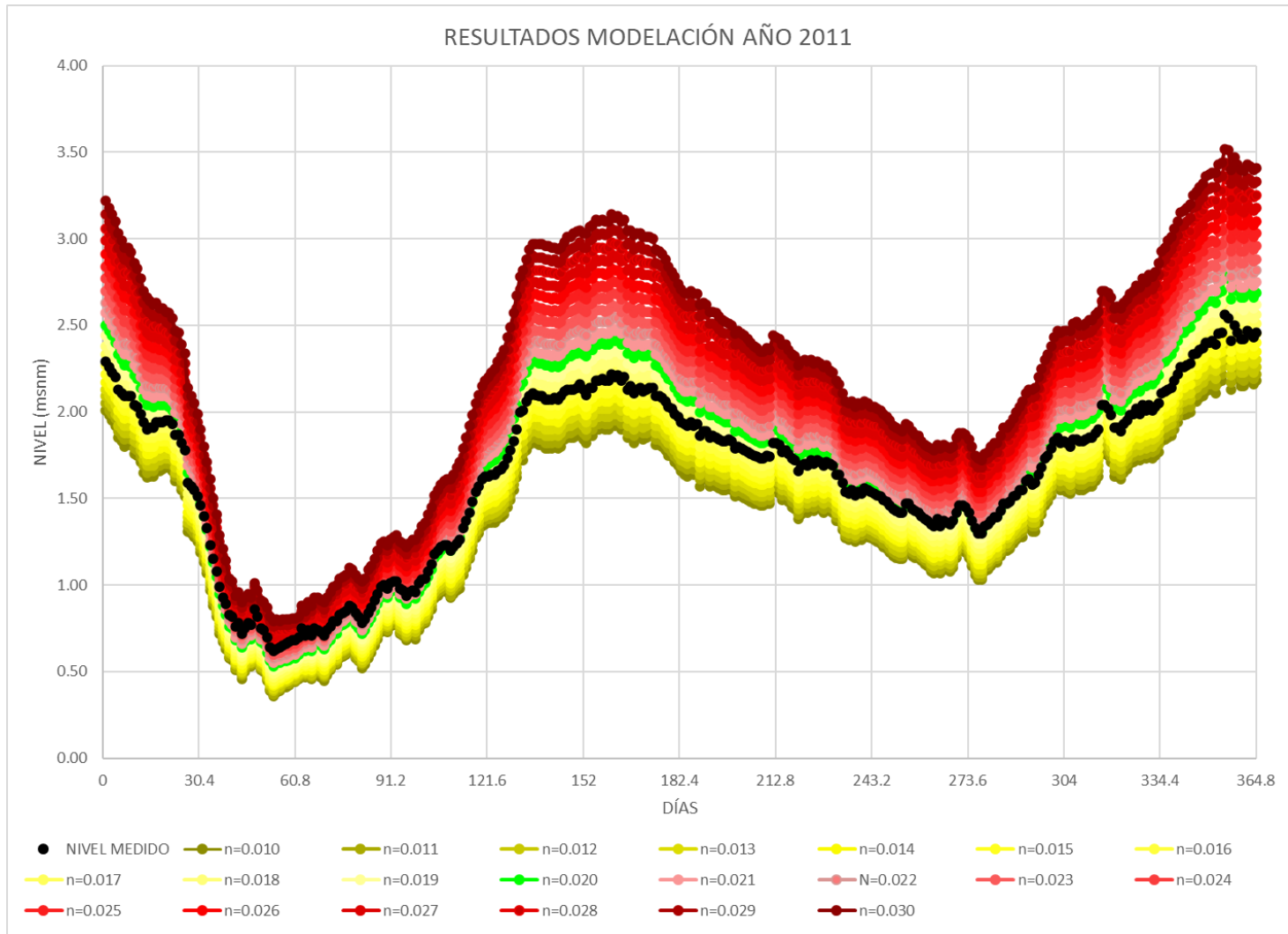


Figura 26. Resultados análisis de sensibilidad coeficiente de Rugosidad de Manning año 2011 Fuente: Elaboración propia

5.3.3.4 Determinación de coeficiente de rugosidad

Como se puede observar en la Figura 23 a Figura 26, el coeficiente de rugosidad que mejor se ajusta a los niveles medidos en la estación TEBSA es variable dependiendo del rango de niveles. A menores niveles de agua, se observa que los coeficientes de rugosidad mayores presentan mejor ajuste, mientras que, para los niveles altos, el coeficiente de mejor ajuste disminuye.

En la mayor parte de las corrientes el valor de n disminuye con el aumento en el nivel y en el caudal. Cuando el agua es poco profunda, las irregularidades del fondo del canal quedan expuestas y sus efectos se vuelven pronunciados. (Chow, 1994)

Teniendo en cuenta lo anterior, no se puede determinar un solo coeficiente de rugosidad de Manning, por el contrario, se genera una curva de coeficientes de rugosidad variando respecto al nivel de agua y al caudal asociado. Para esto, se realiza una prueba de χ^2 de Pearson, la cual se considera una prueba de bondad de ajuste entre una distribución observada y otra teórica, por medio de la siguiente expresión:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{teórica}_i)^2}{\text{teórica}_i}$$

Entre más cercano sea cero el valor de la sumatoria, mayor será la verisimilitud. Por lo tanto, y para poder obtener resultados adecuados, la prueba se separa en rangos de niveles de 0.5 a 1.0, 1.0 a 1.5, 1.5 a 2.0 y 2.0 a 2.5. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 27 a Figura 30, mientras que los datos y cálculos se presentan en el Anexo 4.

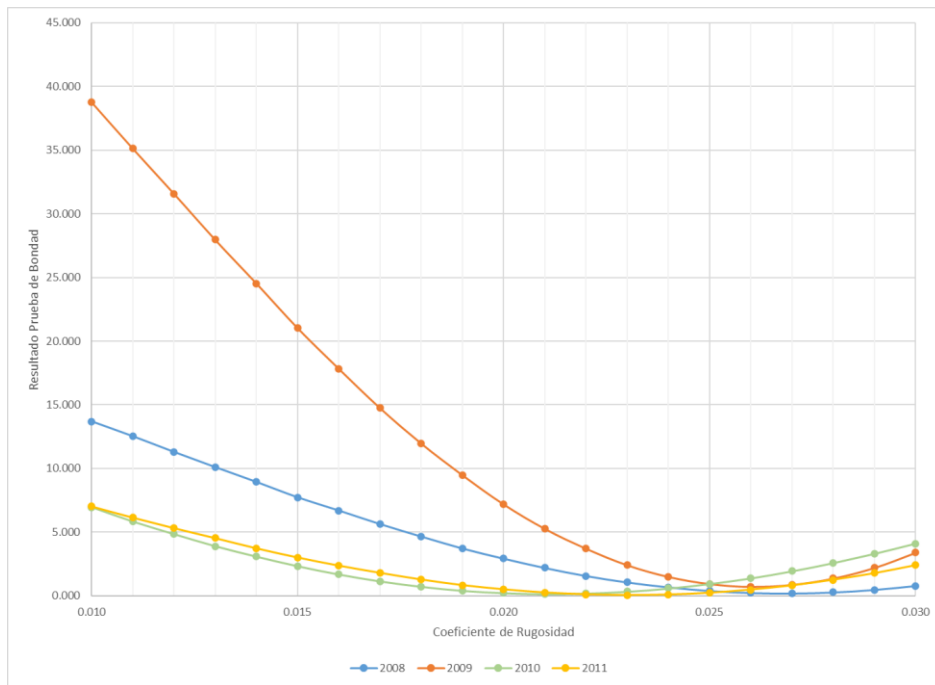


Figura 27. Resultados prueba de bondad de ajuste rango de niveles de 0.5 a 1.0 m
Fuente: Elaboración propia

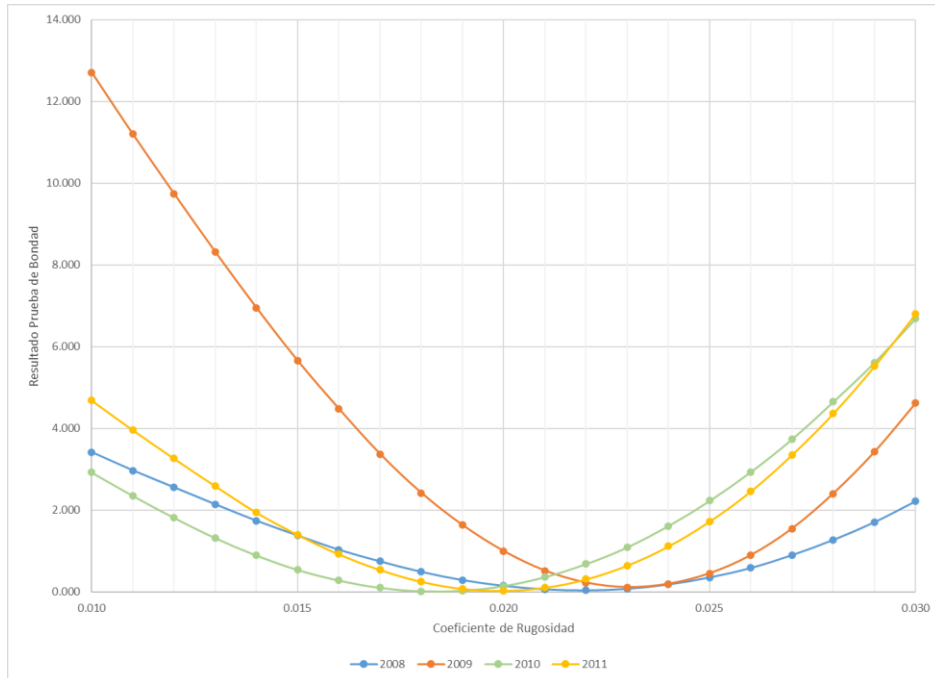


Figura 28. Resultados prueba de bondad de ajuste rango de niveles de 1.0 a 1.5 m
Fuente: Elaboración propia

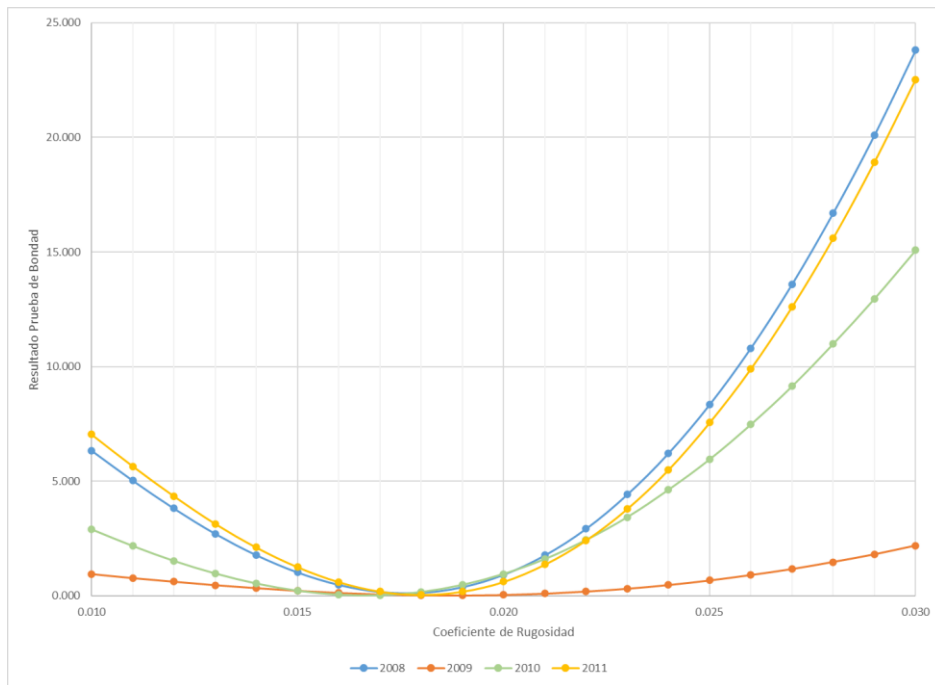


Figura 29. Resultados prueba de bondad de ajuste rango de niveles de 1.5 a 2.0 m
Fuente: Elaboración propia

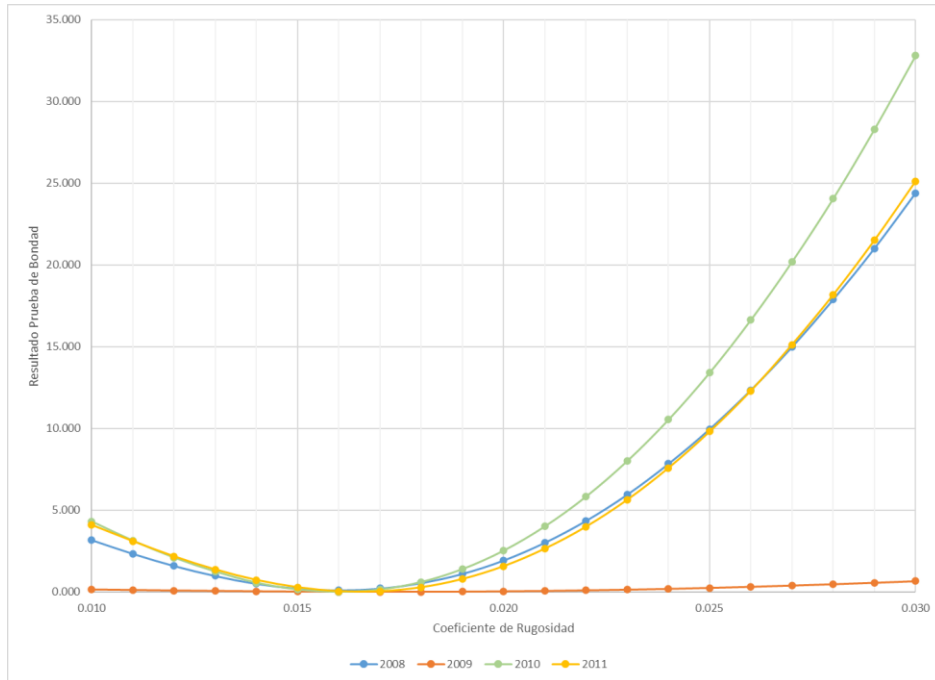


Figura 30. Resultados prueba de bondad de ajuste rango de niveles de 2.0 a 2.5 m
Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se encuentran resumidos en la Tabla 15 y la Figura 31, en la cual se grafican los valores medios de cada rango de niveles seleccionado.

Tabla 15. Coeficientes de rugosidad de mejor ajuste según rango de niveles

AÑO	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD			
	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5
2008	0.027	0.022	0.018	0.016
2009	0.026	0.023	0.019	0.017
2010	0.021	0.018	0.017	0.016
2011	0.023	0.020	0.018	0.017
PROMEDIO	0.024	0.021	0.018	0.017

Fuente: Elaboración propia

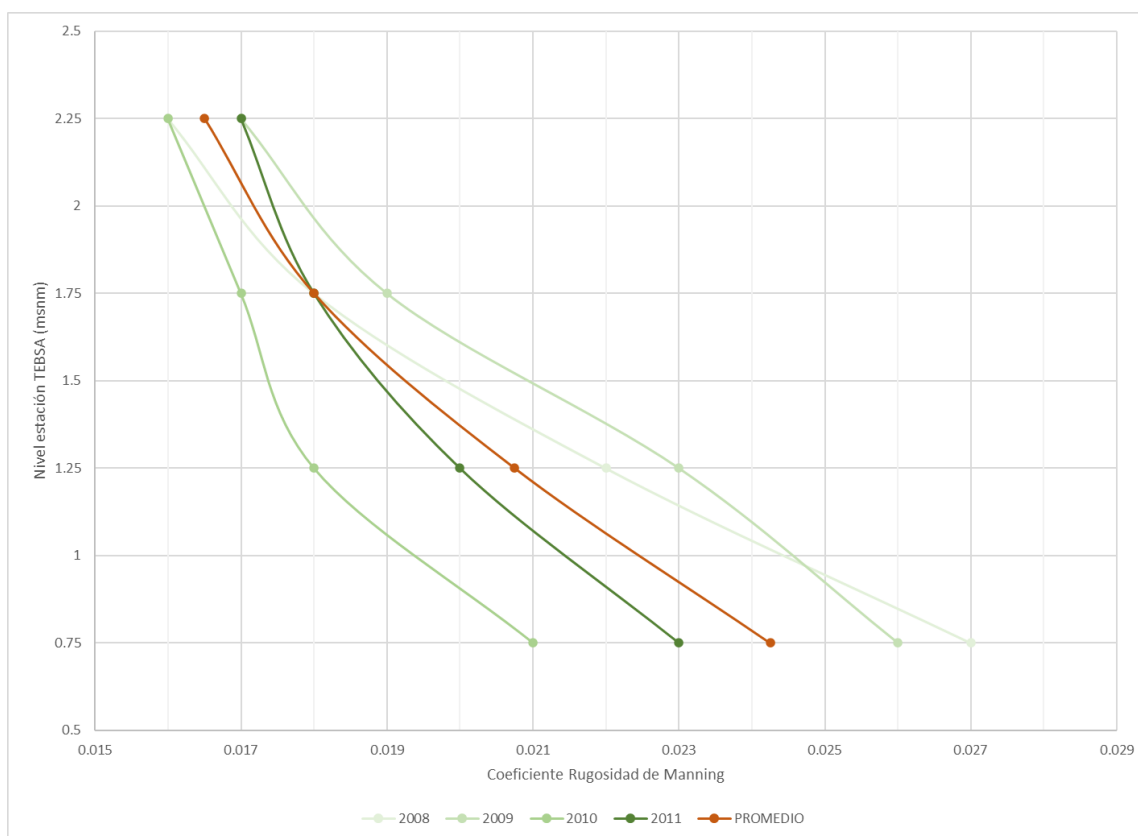


Figura 31. Coeficientes de rugosidad de mejor ajuste según rango de niveles

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 31. Coeficientes de rugosidad de mejor ajuste según rango de niveles, se puede verificar la variabilidad del coeficiente de rugosidad versus el nivel de agua, observando que a medida que aumenta el nivel de agua, el coeficiente de rugosidad disminuye, y tomando como referencia la curva promedio, el coeficiente de escorrentía tiene un rango de variación entre 0.016 a 0.024.

Sin embargo, como el propósito de este análisis es poderlo utilizar en la modelación hidro-sedimentológica, es necesario poder transformar la curva de nivel vs coeficiente de rugosidad, en una gráfica de caudal vs coeficiente de rugosidad, ya que son los datos de entrada que se poseen.

Teniendo en cuenta que se cuenta con los datos de caudal de la estación Calamar y de niveles de la estación TEBSA en el mismo periodo de tiempo, enero de 2008 a diciembre de 2011, estos se grafican para poder determinar la relación entre caudales en Calamar vs niveles en TEBSA. Ver Figura 32.

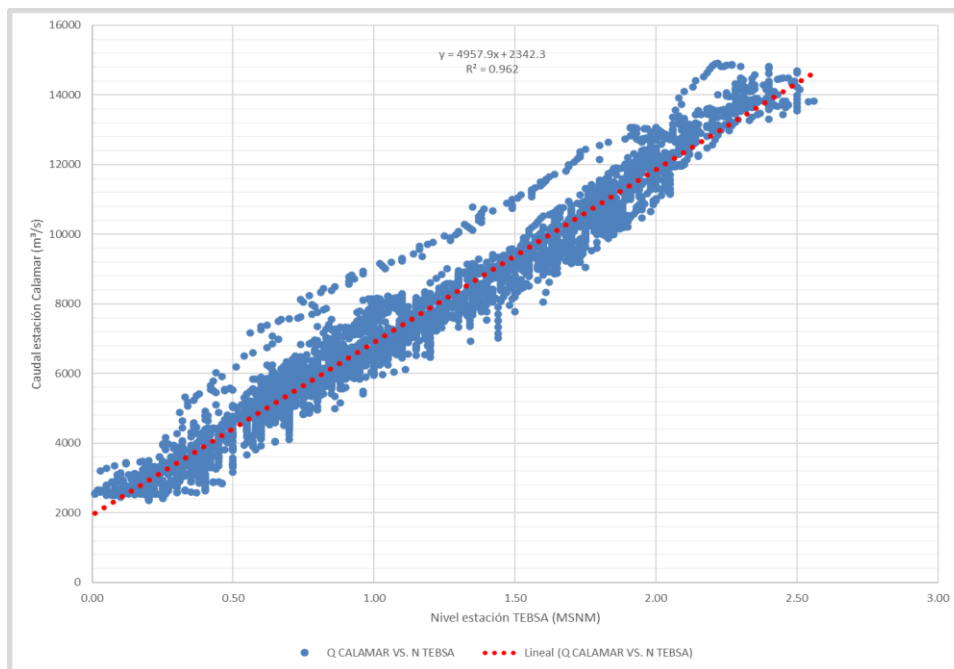


Figura 32. Relación caudal Calamar vs. nivel TEBSA Fuente: Elaboración propia

Finalmente, por medio de la información presentada en la Figura 31 y la Figura 32, se puede determinar la relación que existe entre el caudal que fluye por la corriente y el coeficiente de rugosidad correspondiente. Los resultados se presentan en la Figura 33.

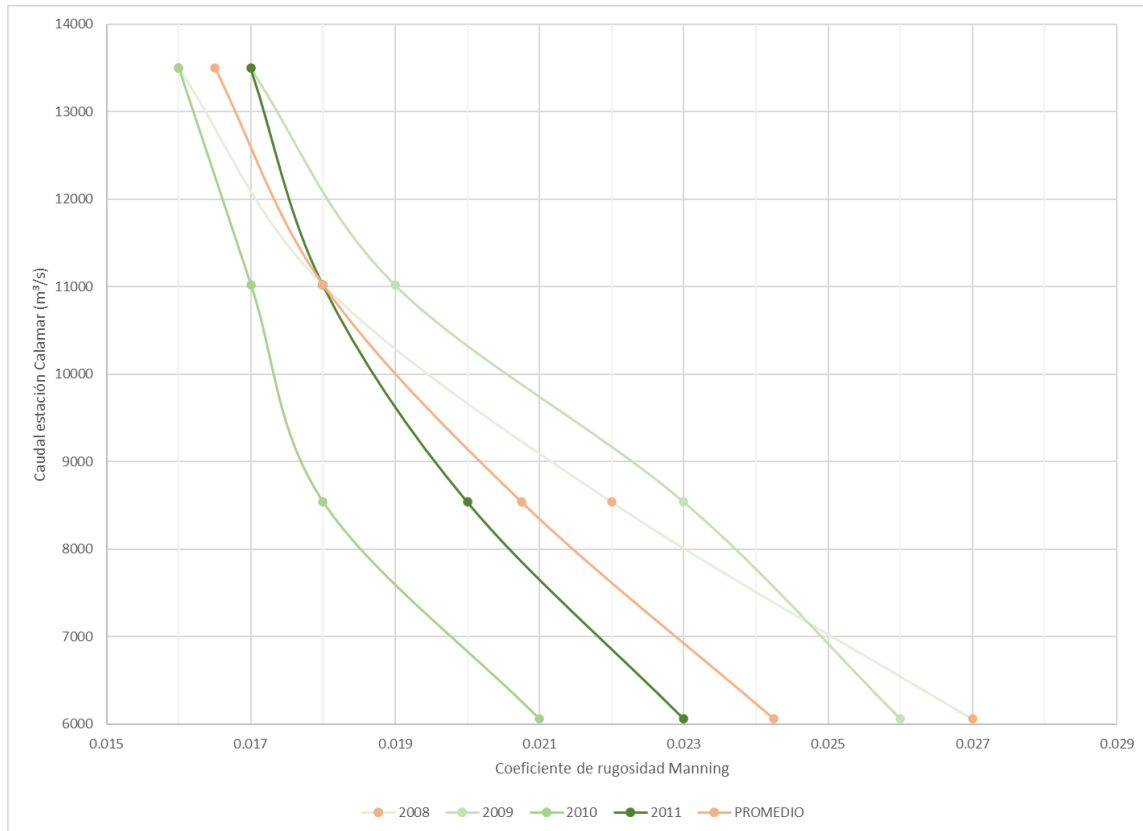


Figura 33. Relación caudal Calamar vs. coeficiente de rugosidad Fuente: Elaboración propia

5.4. Modelo de Sedimentos

El propósito de esta modelación es realizar un análisis comparativo de resultados entre dos escenarios. El primero, un escenario antecedente en el cual solo se tiene en cuenta el puente Pumarejo antiguo, construido en el año de 1974, contrastado con un escenario en el cual ya se encuentra construido el nuevo puente, cuyas labores iniciaron en mayo del año 2016, con la instalación de los pilotes que sostienen los dados de las dos grandes pilas centrales.

Como propósito inicial del trabajo se encontraba la calibración sedimentológica del modelo, mediante la comparación de resultados entre el modelo y las batimetrías que se tienen en algunas secciones de control. Sin embargo, el periodo de tiempo entre un levantamiento batimétrico y otro es como mínimo un mes. Por lo tanto, y teniendo en cuenta lo mencionado previamente respecto a los tiempos de modelación resultantes con una malla de cálculo adecuada, para el caso de las componentes hidrodinámica y sedimentológica del modelo IBER puede ser del orden de 4 a 1; es decir, 4 meses de tiempo de modelación, para analizar un mes de datos.

Por lo tanto, el modelo se convierte en un análisis de la tendencia, en el cual, para un periodo de tiempo mucho menor, se realiza la comparación entre los dos escenarios de modelación planteados, observando la tendencia que se presenta en los fenómenos de erosión – sedimentación, identificando las zonas en las que se desarrolla cada uno y comparando la magnitud resultante en el periodo de tiempo definido.

Esta limitación de cálculo se considera de cierta manera compensada por la extensión y calidad de los datos que se tienen de la caracterización hidráulica y sedimentológica del tramo de estudio, en el cual se cuenta con estudios previos de gran calidad, realizados por el Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA y el Laboratorio Las Flores, con los cuales se tiene una buena base de partida.

5.4.1. Descripción modelo IBER 2D

IBER es un software de computador para modelación de flujo en superficie libre y dos dimensiones en ríos o estuarios. El programa maneja módulos que se pueden interrelacionar entre sí, con el fin de abarcar la mayoría de los procesos y problemas de hidráulica fluvial. Ver Figura 34. Los módulos que incluye el programa son:

- Módulo hidrodinámico
- Módulo transporte de sedimentos
- Módulo hidrológico
- Módulo de calidad de agua
- Módulo de turbulencia
- Módulo de Hábitat

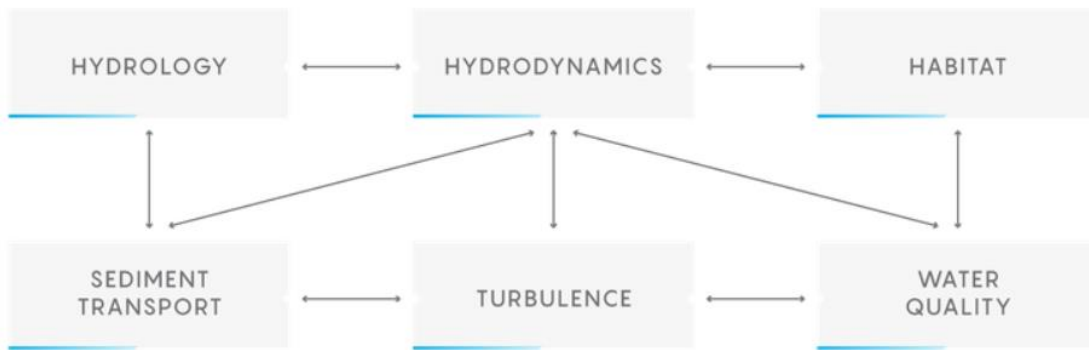


Figura 34. Módulos IBER Fuente: (IBER, *Manual de Referencia Hidráulico*, 2014)

Para la presente tesis, los módulos a implementar corresponden al módulo hidrodinámico y el módulo de transporte de sedimentos, con los cuales se plantea verificar la hipótesis planteada.

5.4.1.1 Módulo hidrodinámico

Este módulo resuelve por el método de volúmenes finitos las ecuaciones bidimensionales (dos direcciones horizontales) de conservación de la masa y momento presentadas en la Figura 35.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_s$$

$$\frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{g h^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + 2 \Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x$$

$$\frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g h^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} - 2 \Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y$$

Figura 35. Ecuaciones bidimensionales de conservación de la masa y momento

Fuente:(Bladé et al., 2014)

En donde:

- h: calado o lámina de agua.
- U_x y U_y : velocidades horizontales promediadas en profundidad
- g: aceleración de la gravedad
- Z_s : elevación de la lámina a superficie libre
- τ_s : fricción en la superficie libre debida al viento
- τ_b : fricción en el fondo
- ρ : densidad del agua
- Ω : velocidad angular de la rotación de la tierra
- λ : latitud del punto considerado
- τ_{xx}^e τ_{xy}^e τ_{yy}^e : tensiones tangenciales efectivas horizontales
- M_s M_x M_y : términos de masa y momento

5.4.1.2 Módulo transporte de sedimentos

Este módulo, con base en los resultados obtenidos en el módulo hidrodinámico, resuelve por el método de volúmenes finitos la ecuación de conservación de sedimentos de Exner, teniendo en cuenta la carga por sedimentos en suspensión y transporte del lecho, modificando así la cota de fondo y recalculando el módulo hidrodinámico, por lo tanto, hay una

interrelación entre estos dos módulos, que se puede ver de manera gráfica en la Figura 36.

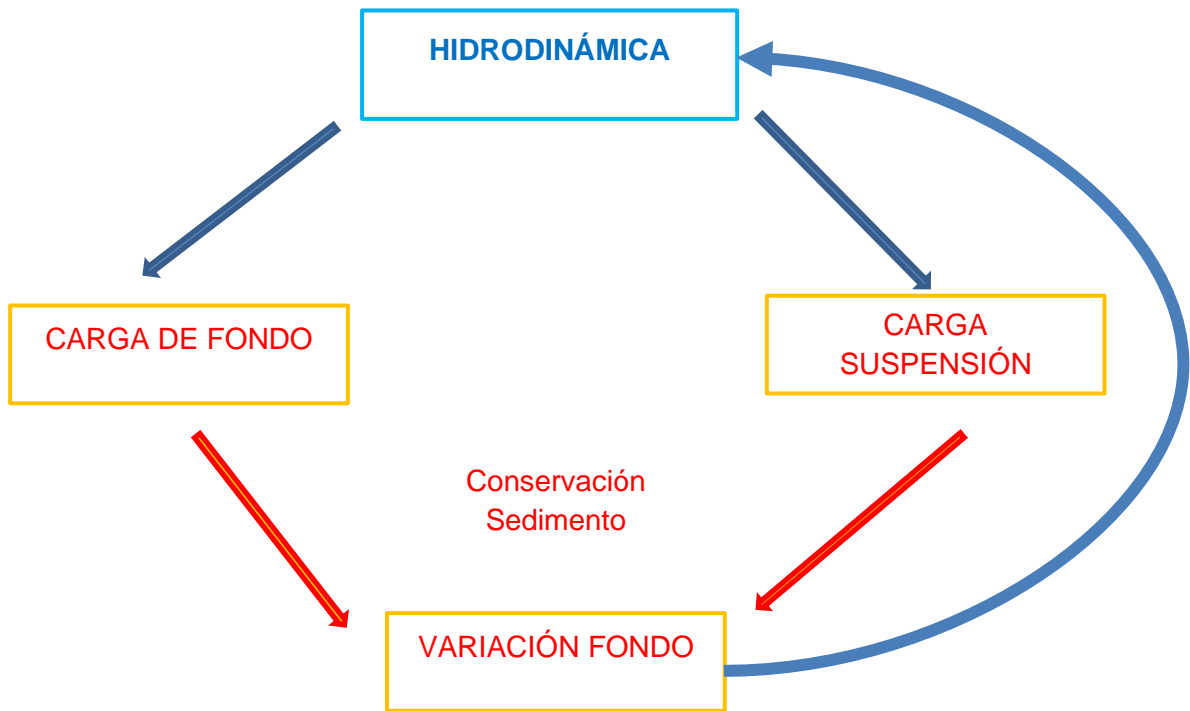


Figura 36. Interrelación entre módulo hidrodinámico y de transporte de sedimentos

Fuente: Elaboración propia

La ecuación de conservación de Exner está expresada por la igualdad presentada en la Figura 37.

$$(1-p) \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{sb,x}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sb,y}}{\partial y} = D - E$$

Figura 37. Ecuaciones de conservación del sedimento de Exner Fuente:(Bladé et al., 2014)

En donde:

p :	porosidad del sedimento que forma el lecho.
$q_{sb,x}$ y $q_{sb,y}$:	dos componente de caudal sólido de fondo
Z_b :	cota de fondo
D-E:	balance entre carga de fondo y en suspensión

5.4.2. Montaje del modelo

Sin importar los módulos a implementar, para poder realizar el montaje del modelo se deben seguir unos pasos o (preproceso), los cuales se indican a continuación:

- Crear o importar una geometría
- Asignación condiciones de contorno (hidrodinámicas y de sedimentos)
- Asignación de parámetros de modelación.
- Construir malla de cálculo

5.4.2.1 Creación Geometría

La base geométrica de modelación parte de la información batimétrica con la que se cuenta, y que se presenta en el Anexo No. 2. Sin embargo, según la información presentada en la Tabla 8, se poseen veintiocho (28) archivos de batimetría con información completa del tramo definido en el numeral 5.2.5.

En primera instancia, y teniendo en cuenta que las labores de construcción del puente iniciaron en el mes de mayo del año 2016, todos los archivos de batimetría anteriores a esa fecha se descartan, quedando así sólo dos (2) opciones disponibles, agosto de 2016 o agosto de 2017.

Al respecto, y con ayuda de imágenes satelitales de Google Earth, se observa que sobre en la segunda mitad del año 2012 se inicia la construcción de nueva infraestructura portuaria sobre la margen izquierda del río, a la altura del K18.

Esta nueva infraestructura corresponde a diques y plataformas de acceso que permitirán el acceso de buques por el canal navegable, que en este sector se encuentra recostado sobre la margen derecha del río; sin embargo, genera la sedimentación y finalmente, pérdida total de un sector de la margen izquierda. Las primeras tres imágenes Figura 38 a Figura 40, donde se observa la situación previa a construcción de la infraestructura portuaria, en las cuales se puede observar que no hay modificaciones de la margen.

Ya en la figura del año 2013 se observa un avance de las obras más notorio, sin embargo, aún no afecta la morfología del cauce ver Figura 41. Ya para el año 2014 se observa que esta infraestructura modifica las líneas de corriente del río, alejándolas de la margen izquierda ver Figura 42.

En el año 2015, se observan las primeras modificaciones a la margen izquierda del río, con la formación de pequeñas barras de sedimento, sin embargo, todo esto previo a la construcción del nuevo puente Pumarejo Figura 43. Ya a mediados del año 2016 inicia la construcción del nuevo puente Pumarejo; y en la zona de ubicación de las obras portuarias ya se observa cambio de tonalidad en este sector, que indica la disminución de la profundidad en este sector Ver Figura 51. El proceso completo se desarrolla ya en los años de 2017 a 2018, con la pérdida de la margen izquierda, ver Figura 45 a Figura 46.



Figura 38. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena K18 febrero 2010 Fuente: Elaboración propia



Figura 39. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena junio 2011 K18 Fuente: Elaboración propia



Figura 40. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena agosto 2012 K18 Fuente: Elaboración propia

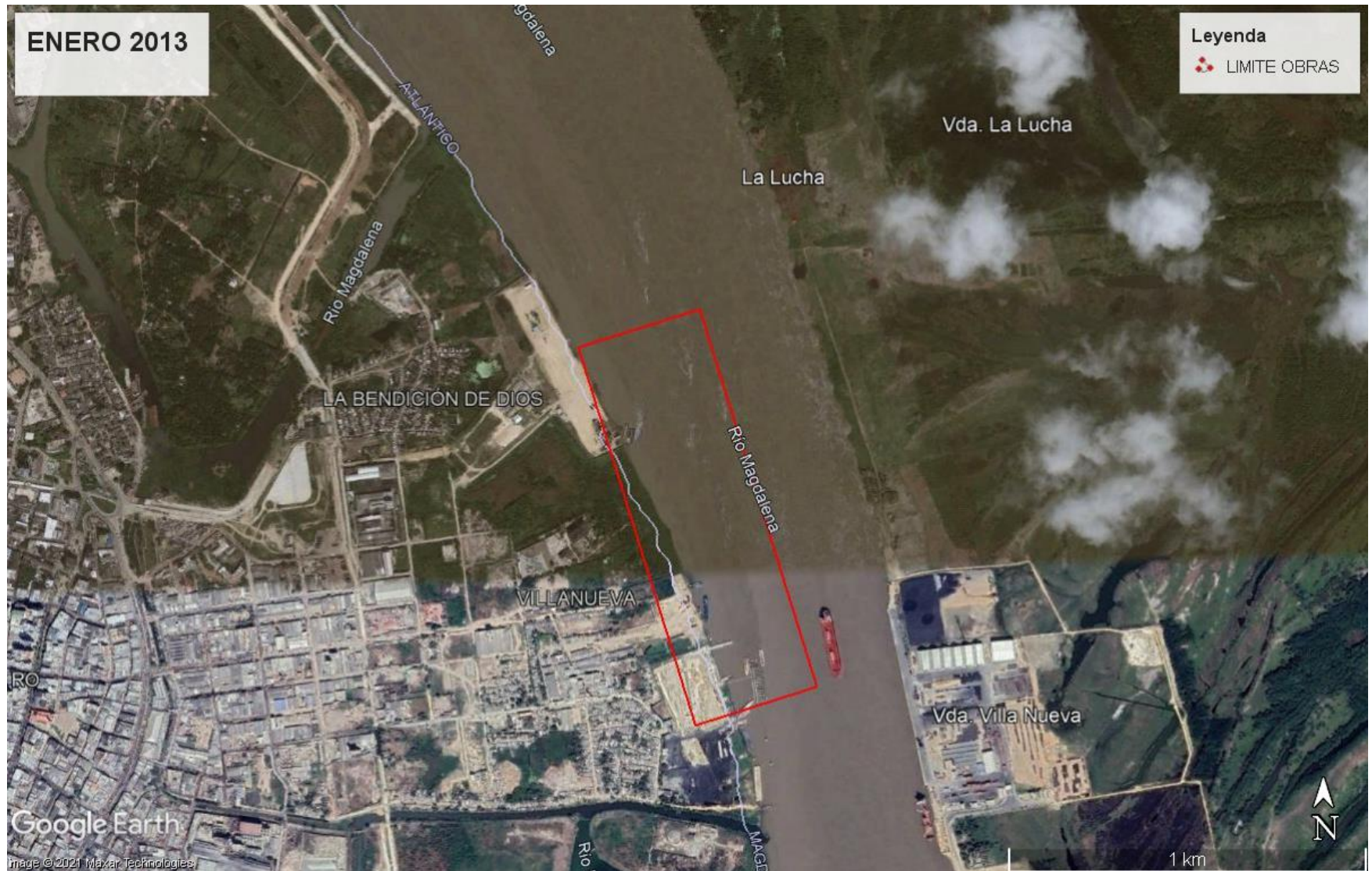


Figura 41. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena enero 2013 K18 Fuente: Elaboración propia



Figura 42. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena enero 2014 K18 Fuente: Elaboración propia



Figura 43. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena enero 2015 K18 Fuente: Elaboración propia



Figura 44. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena marzo 2016 K18 Fuente: Elaboración propia



Figura 45. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena diciembre 2017 K18 Fuente: Elaboración propia



Figura 46. Evolución orilla margen izquierda río Magdalena mayo 2018 K18 Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir con base en el análisis previo, que en el río se han construido una serie de obras de direccionamiento del cauce e infraestructura portuaria, que ha tenido efectos más agresivos en el cambio morfológico del cauce que lo que el mismo puente pueda generar, como estructura puntual.

En ese orden de ideas, se adopta para modelación la batimetría tomada en agosto del año 2017, ya que esta tiene en cuenta la modificación de la margen izquierda del cauce en el K18, así como la construcción de las pilas del nuevo puente, que para este momento ya estaban adelantadas. En la Figura 47 se presenta el modelo digital de terreno para agosto de 2017.

5.4.2.1.1 Pilas puentes

El puente existente, construido en 1974, fue concebido para tener una totalidad de veintiocho (28) apoyos, con una separación entre ellos de 47.0 m, a excepción de los apoyos 20 y 21, los cuales tienen una separación de 140 m y se encuentran ubicados en el brazo izquierdo de la isla Rondón para generar el paso de embarcaciones.

Según la información consignada en los planos de construcción, cada apoyo está soportado sobre dos pilas, las cuales son de 2.5 m de diámetro para los apoyos intermedios y de 5.0 m de diámetro para los apoyos 20 y 21. Estas pilas ingresan hasta el lecho del cauce, donde se encuentra el dado de cimentación, cinco metros debajo del límite del fondo del cauce. Ver Figura Figura 48.

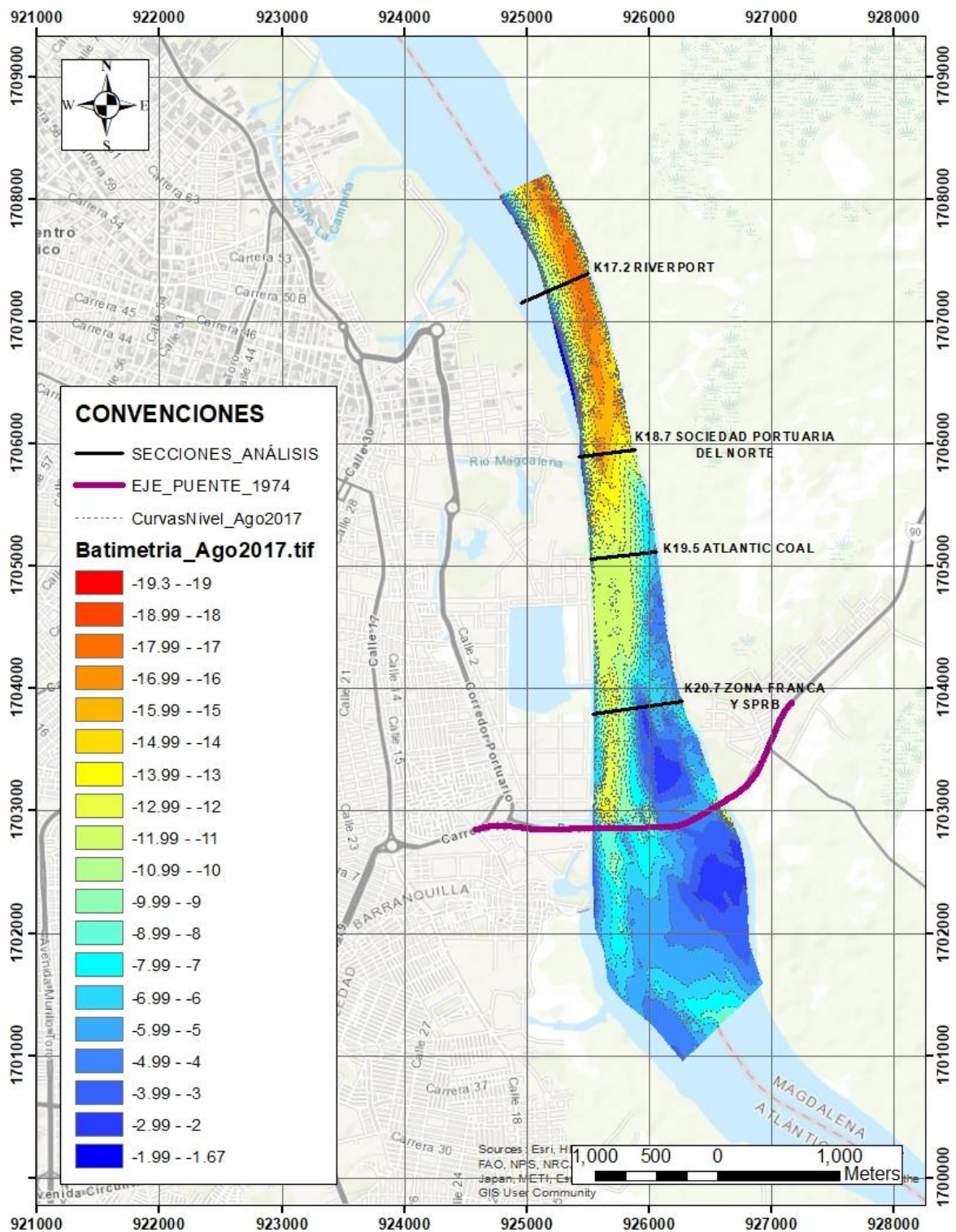


Figura 47. Batimetría modelo sedimentológico agosto 2017 Fuente: Elaboración propia

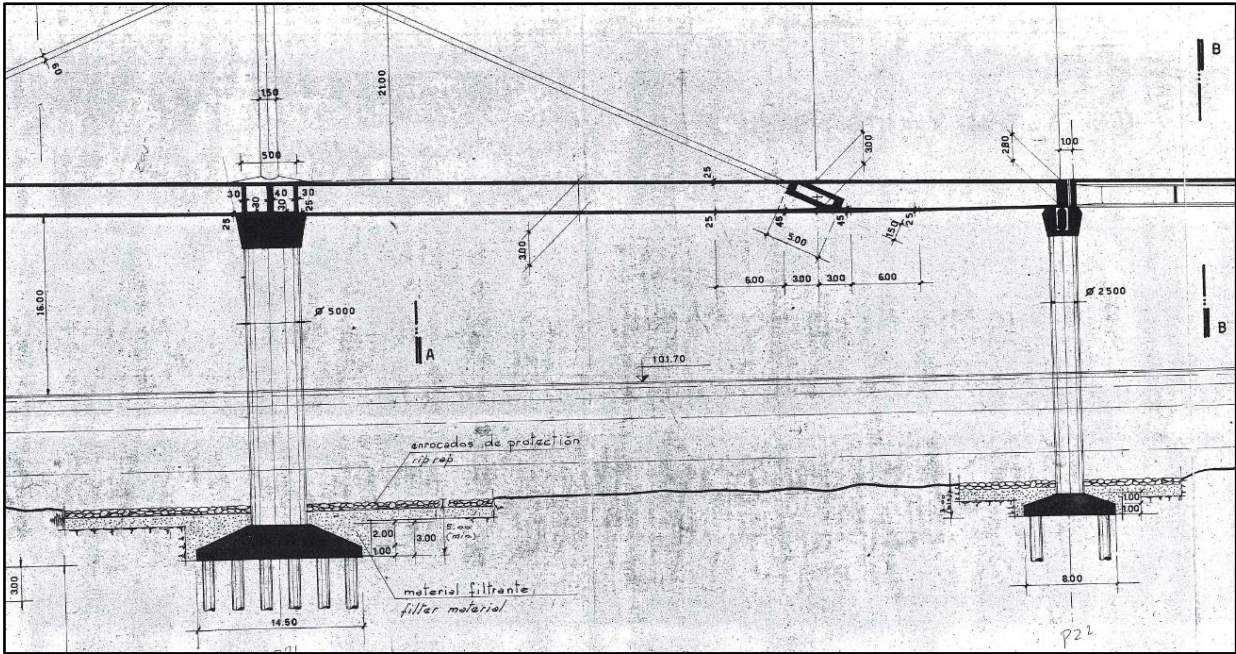
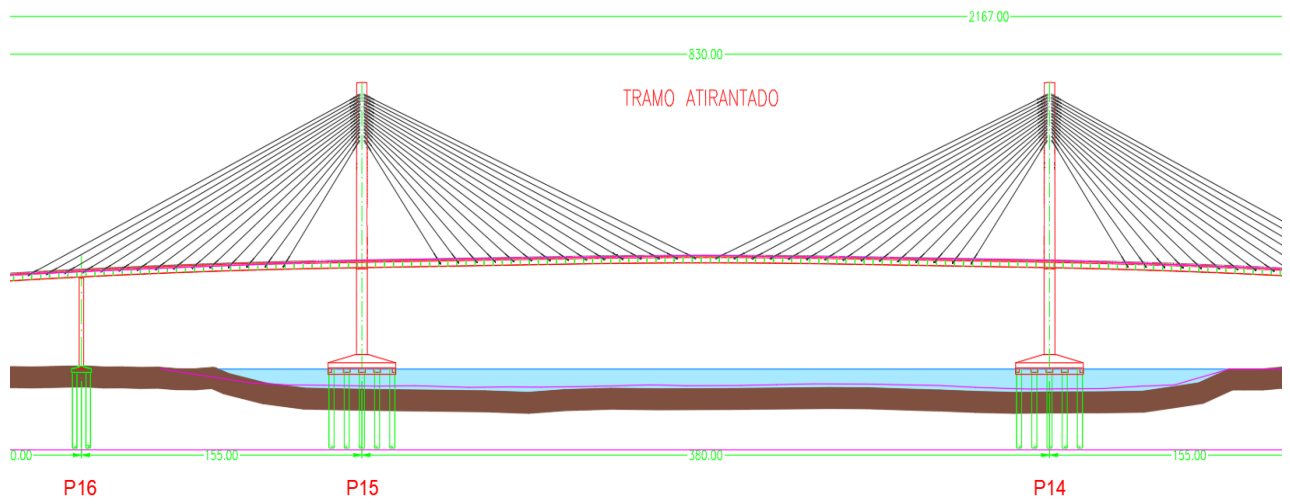


Figura 48. Corte pilas principales y secundarias Puente Pumarejo año 1974 Fuente: (Morandi, 1970)

Para el puente nuevo, que inicio construcción en el año 2016 y fue entregado en el año 2019, se proyectó de manera distinta, ya que los apoyos del puente se soportaban sobre dados que se encuentran 0.50 m por encima del nivel medio del cauce y estos dados, están soportados sobre una serie de pilotes de 2.80 m de diámetro para los dos grandes soportes del costado izquierdo de la Isla Rondón y de 2.50 m para los que soportan los apoyos del cotado derecho de la isla Rondón, por lo tanto, los elementos que ingresan al lecho del cauce son los pilotes. Ver Figura 49 y Figura 50.



VIADUCTO ACCESO MARGEN DERECHA

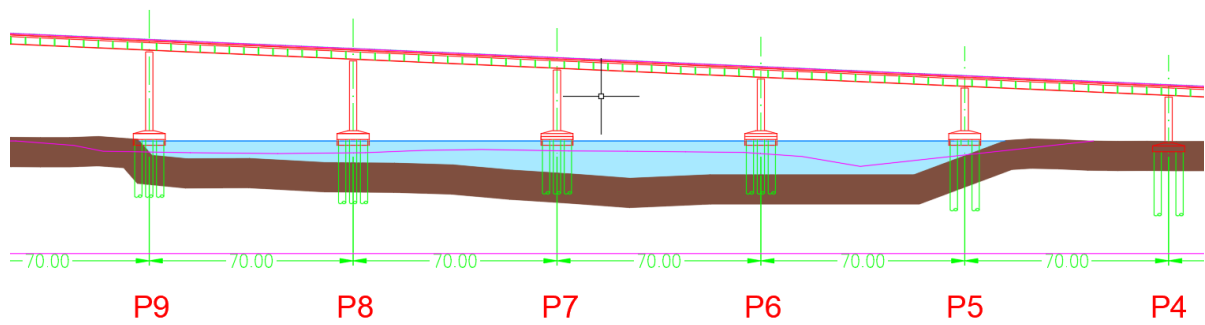


Figura 49. Corte pilas principales y secundarias Puente Pumarejo año 2016 Fuente:(Manterola, 2013)

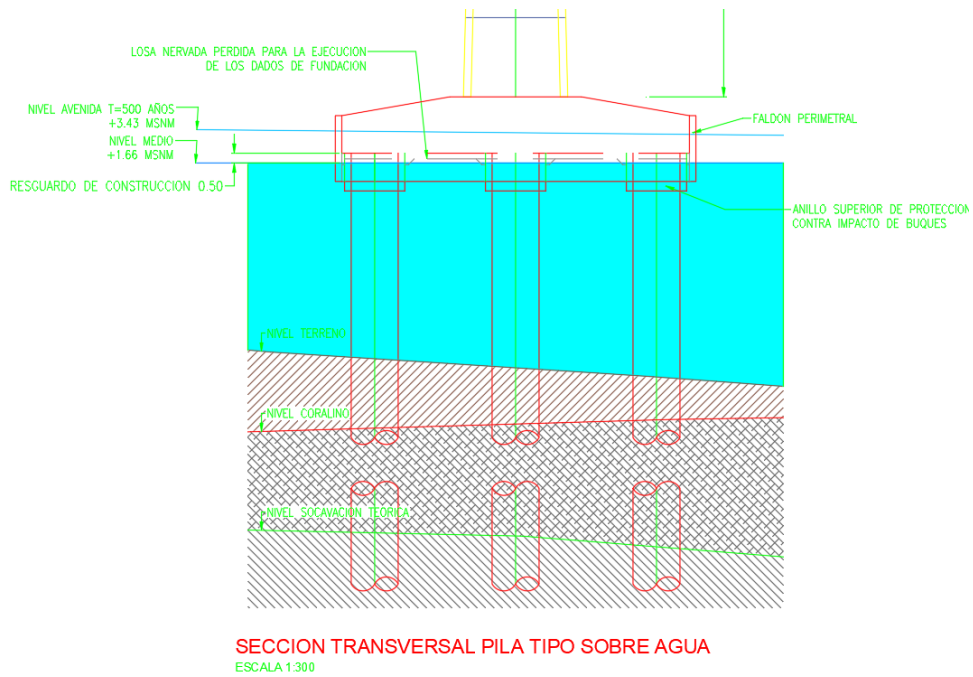


Figura 50. Sección típica pila en agua Puente Pumarejo año 2016 Fuente:(Manterola, 2013)

Con base en fotografías del puente existente y proyectado, se puede inferir que la construcción siguió lo presentado en planos de diseño. Ver Figura 51 y Figura 52. Por lo tanto, estas son las características de las pilas adoptadas para la modelación hidro sedimentológica.



Figura 51. Fotografía panorámica puente Pumarejo Antiguo Fuente:(Redacción El Tiempo, 2014)



Figura 52. Fotografía panorámica nuevo puente Pumarejo Fuente: (SACYR Colombia, 2019)

5.4.2.2 Condiciones de contorno hidrodinámicas

Las condiciones de contorno hidrodinámicas a definir en el modelo dependen del tipo de flujo que se desarrolle en el mismo, siguiendo las recomendaciones presentadas en la Tabla 16.

Tabla 16. Condiciones de contorno implementadas en los contornos abiertos

CONTORNO	RÉGIMEN		CONDICIONES IMPUESTAS
Entrada	Caudal total	Subcrítico/Crítico	Caudal total en dirección normal al contorno
		Supercrítico	Caudal total en dirección normal al contorno y velocidad media
	Caudal específico	Subcrítico/Crítico	Caudal específico en dirección normal al contorno
		Supercrítico	1. Caudal específico en dirección normal al contorno y calado 2. Caudal específico en dirección normal al contorno y cota de agua
Salida	Subcrítico		1. Calado
			2. Cota de agua
			3. Vertedero (Cota y coeficiente de descarga)
4. Curva de gasto			
	Subcrítico/Crítico		No es necesario imponer ninguna condición

Fuente: (IBER, Manual de Referencia Hidráulico, 2014)

Teniendo en cuenta la pendiente del cauce, el tipo de flujo a desarrollar corresponde a subcrítico en toda su extensión. Por lo tanto, Sólo es necesario imponer una condición de contorno a la entrada y una condición de contorno a la salida.

5.4.2.2.1 Condición contorno de entrada

Para condición de contorno a la entrada se define caudal total, “en el caso que se imponga el caudal total en el contorno de entrada, se realiza una distribución de caudal unitario (m^2/s) en el contorno de entrada, según la siguiente expresión” (IBER, Manual de Referencia Hidráulico, 2014).

$$q_n = \frac{h^{5/3}}{\int h^{5/3} dy} Q$$

En donde:

q_n : caudal específico normal en cada punto de entrada

Q : caudal total de entrada por dicho contorno

Teniendo en cuenta las restricciones del tiempo de modelación, no se puede adoptar un hidrograma de entrada correspondiente a ninguno de los periodos en los que se tiene información; por lo tanto, se define un único caudal de modelación, igual a 8000 m³/s, el cual corresponde al caudal dominante del cauce y con el cual se realizará la modelación de un día, con el cual se determinará la tendencia de las zonas propensas a erosionarse o sedimentarse.

El caudal dominante o caudal sólido, característico de los procesos morfológicos del río, es un caudal uniforme y constante, capaz de transportar la misma carga de sedimentos generada por un hidrograma anual característico en el sector de estudio. Para el último tramo del río Magdalena, se ha determinado en 8000 m³/s.(Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA, 2005)

5.4.2.2.2 *Condición contorno de salida*

Para el modelo se determina una condición frontera de salida con un nivel fijo durante toda la modelación, teniendo en cuenta que el caudal es invariable en el tiempo. Con base en la información presentada en la Figura 19 a Figura 22, donde se encuentran los

niveles en el límite del modelo para el periodo de 2008 a 2011, se construye una curva de calibración de nivel al final de la modelación vs caudal Calamar. Los resultados se presentan en la Figura 53. Con base en los resultados obtenidos, se define un nivel de agua constante en el contorno de aguas abajo e igual a 0.90 msnm.

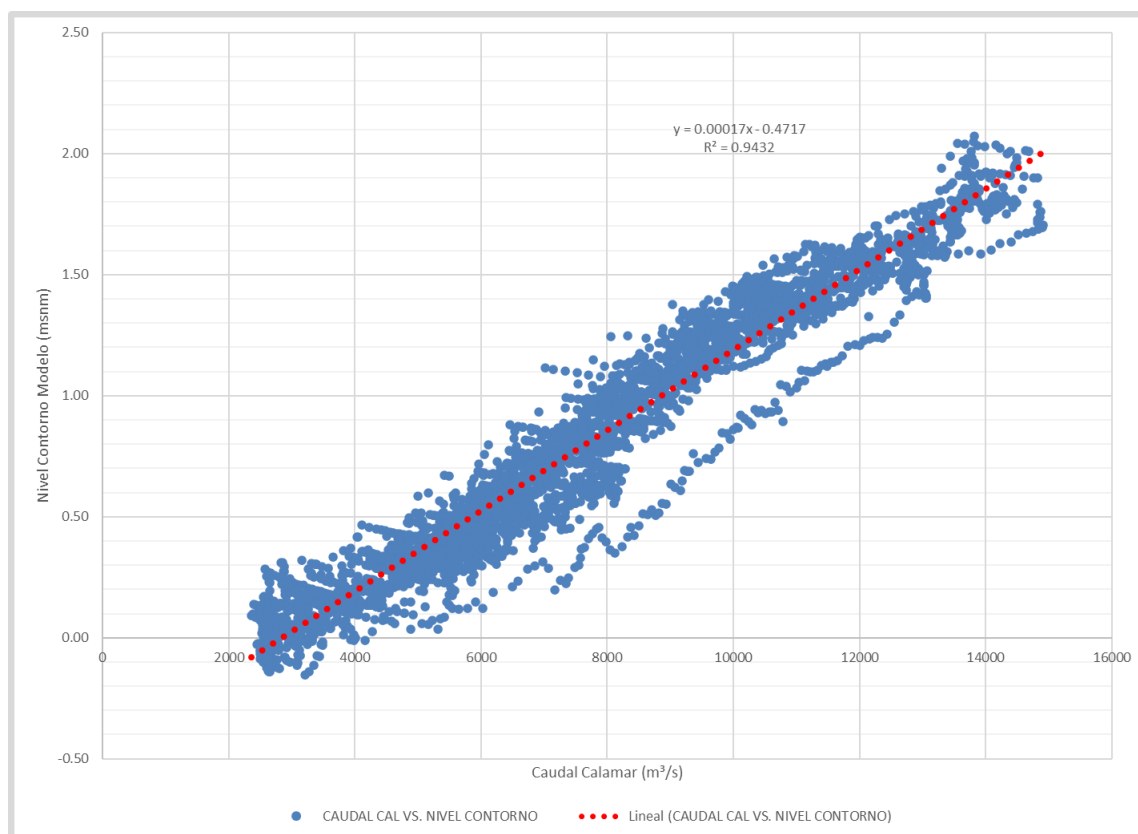


Figura 53. Relación nivel contorno modelo vs. caudal Calamar Fuente: Elaboración propia

5.4.2.3 Condiciones de contorno sedimentológicas

Las condiciones de contorno sedimentológicas a definir en el modelo son dos, una por cada modalidad de transporte; es decir, transporte de fondo y transporte en suspensión, ambas en el contorno de aguas arriba.

5.4.2.3.1 Condición contorno transporte de sedimento en suspensión

Para esta condición el programa solicita la concentración de sedimentos en suspensión en valores de gramos por cada litro de agua. Para determinar este valor se hace uso de la figura de la curva de calibración de transporte de sedimentos presentada en el numeral 5.1.3.

Ingresando a la respectiva gráfica con un caudal de 8000 m³/s se obtiene un transporte de sedimentos en suspensión de 500.000 (Ton/día), al realizar la división del transporte de sedimentos diario entre el caudal líquido y realizar las respectivas conversiones de unidades, se obtiene una concentración de sedimentos de 0.72 g/l.

5.4.2.3.2 Condición contorno transporte de sedimento de fondo

Debido a que no se cuenta con mediciones de sedimentos de fondo, para la condición de contorno se adopta una de las opciones con las que cuenta el programa, y es permitir que internamente calcule el caudal sólido con base en la capacidad de arrastre en el contorno con base en los valores de velocidad y lámina de agua que allí se presenten.

5.4.2.4 Parámetros modelación

Los parámetros de modelación a definir por el usuario son: coeficiente de rugosidad de Manning, diámetro D_{50} de partícula de sedimento y porosidad.

5.4.2.4.1 Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning para utilizar en el modelo se define a partir de la información presentada en la Figura 33. Teniendo en cuenta que se realiza la modelación para un único caudal, el coeficiente de rugosidad no varía durante el periodo de modelación.

Para un caudal de 8000 m³/s, se obtiene de la gráfica un valor de coeficiente de rugosidad de Manning de 0.022, el cual se incluye a cada una de las superficies que componen el modelo.

5.4.2.4.2 Diámetro partícula sedimento D_{50}

El diámetro de una partícula de sedimento importa en el proceso de transporte de sedimentos, en primera instancia por la energía necesaria; es decir, es más fácil mover un grano de diámetro pequeño que uno con diámetro mayor. Además, los lechos de fondo con una mejor gradación de tamaños son más difíciles de mover que los que tienden a tener diámetros similares, por el efecto de la porosidad, que se trata más adelante.

Existe una clasificación del sedimento, con base en el diámetro de este, en la Tabla 17 se presenta esta clasificación con base en lo definido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA, por sus siglas en inglés.

Tabla 17. Clasificación de tamaños comunes de grano

RANGO (mm)		CLASIFICACIÓN
DE	A	
< 0.002		Arcilla
0.002	0.004	Limo muy fino
0.004	0.008	Limo fino
0.008	0.016	Limo medio
0.016	0.031	Limo grueso
0.031	0.063	Limo muy grueso
0.063	0.125	Arena muy fina
0.125	0.25	Arena fina
0.25	0.5	Arena media
0.5	1	Arena gruesa
1	2	Arena muy gruesa
2	4	Grava muy fina
4	8	Grava fina
8	16	Grava media
16	32	Grava gruesa
32	64	Grava muy gruesa
64	128	Cantos finos
128	256	Cantos gruesos
> 256		Guijarro

Fuente: (Wilcock et al., 2009)

Con base en la información presentada en la Tabla 17, el diámetro medio D_{50} para el tramo de estudio es de 248 micras, para propósitos prácticos se adopta un valor de 0.25 mm. El cual se encuentra en el límite entre arena fina y arena media.

5.4.2.4.3 Porosidad

“En el caso de arenas la porosidad asume valores comprendidos entre 0.35 y 0.45. En el caso de gravas, partículas más pequeñas ocupan los vacíos y la porosidad puede descender hasta 0.2

aproximadamente.”(Khullar et al., 2013). También existen algunas expresiones empíricas para determinar la porosidad, como la determinada por (Komura, 1961), la cual es válida para diámetros medios D_{50} entre 4×10^{-4} y 80 mm.

$$p = 0.245 + 0.14D_{50}^{-0.21}$$

Aplicando la anterior expresión, para un diámetro D_{50} de 0.248 mm, se obtiene una porosidad de 0.419, la cual se encuentra en el rango presentado por (Khullar et al., 2013). Finalmente, se compara con la porosidad que se presenta en bibliografía especializada, con base en la clasificación del tamaño de grano, ver Tabla 18, en la cual se observa que, para el límite entre arena fina y media, la porosidad esta entre 0.42 y 0.43; por lo tanto, se adopta para modelación un valor de 0.42.

Tabla 18. Porosidad para distintos sedimentos

SEDIMENTO	p
Grava gruesa	0.18
Grava mediana	0.23
Grava fina	0.33
Arena gruesa	0.35
Arena mediana	0.42
Arena fina	0.44
Limos	0.54

Fuente:(Basile, 2018)

5.4.2.5 Mallado del modelo

Uno de los procesos que requieren mayor tiempo y esfuerzo a la hora de desarrollar un estudio de simulación numérica del flujo en ríos es la generación de la malla de cálculo. Un río tiene una geometría irregular y la construcción de una malla eficiente no es evidente. Es deseable que la malla sea irregular, con el fin de minimizar el número de elementos con transiciones suaves. Para ello son muy adecuados los métodos de mallado basados en el error cordal (máxima distancia entre el terreno original y la malla). Por ello IBER incorpora las capacidades estándar de mallado de GiD, como la creación de mallas estructuradas y no estructuradas, de triángulos y de cuadriláteros, mediante el uso de diversos algoritmos de mallado. (Bladé et al., 2014).

Entre más fina sea la malla, mayor precisión tendrá el modelo, ya que se acomodará mejor a la topografía del terreno; sin embargo, el costo computacional también se incrementará de manera exponencial. Por lo tanto, y como se mencionó previamente, se debe buscar un equilibrio entre el tamaño de la malla a utilizar, y el tiempo de cálculo, el cual está relacionado con la capacidad del equipo de cómputo.

Como se comentó previamente, los levantamientos batimétricos se realizan por medio de una sonda, montada sobre una embarcación, la cual ya tiene trazado su recorrido previamente por satélite. El número de puntos que toma de información difiere del sector del río, para los sectores I a III, la distancia entre datos tomados disminuye; es decir se genera una nube de puntos más densa, ya que este sector corresponde al canal navegable principal. Desde el puente Pumarejo hacia arriba, esta distancia aumenta apreciablemente, generando así una nube menos densa. Ver Figura 54.

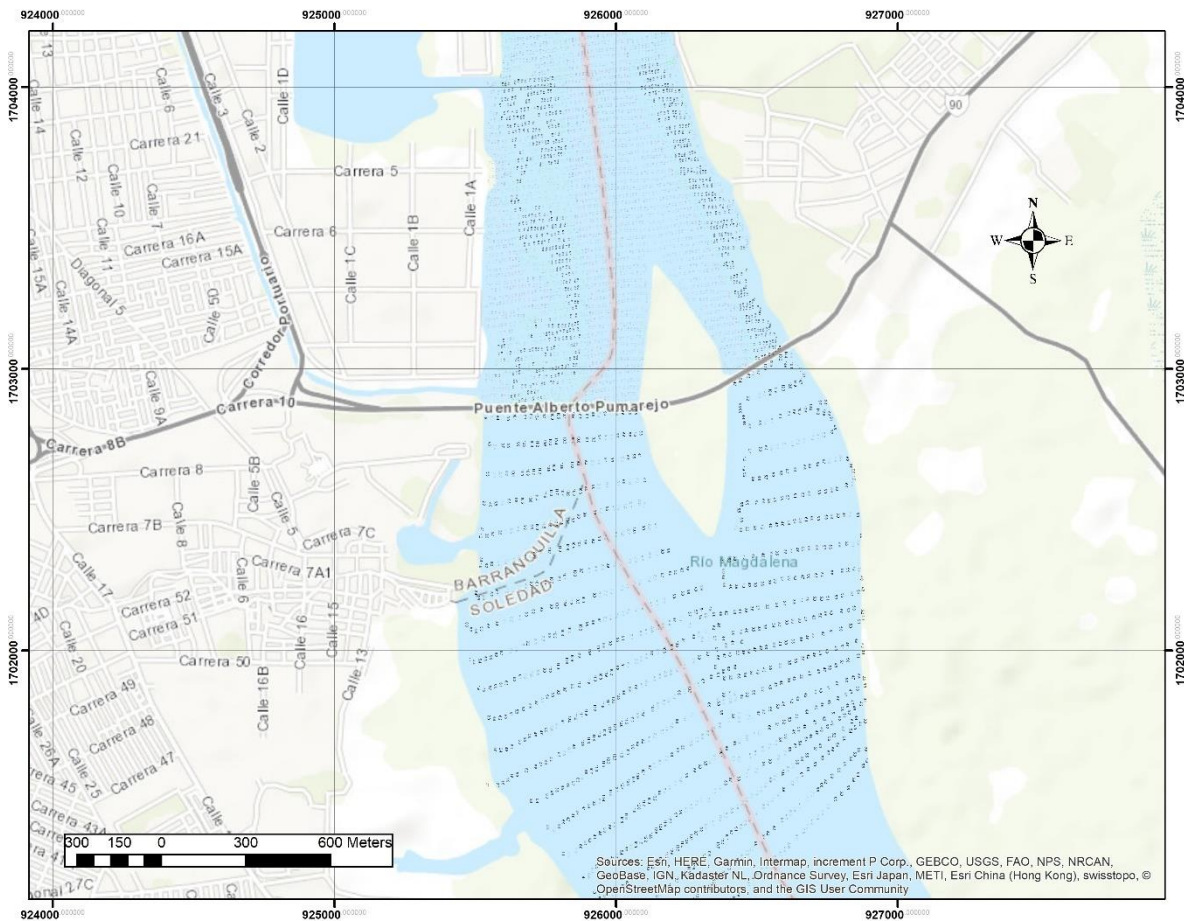


Figura 54. Separación puntos levantamiento batimétrico Fuente: Elaboración propia

La separación de puntos aguas arriba del puente Pumarejo se encuentra entre 50m y 100 m, mientras que hacia aguas abajo, esta separación se reduce al orden de 25m a 30 m.

En este orden de ideas, una malla de cálculo, con polígonos triangulares de 50 m de lado, se considera adecuada, teniendo en cuenta la densidad de toma de datos de la información base. Para la zona de los puentes, específicamente el sector de ubicación de las pilas se realiza un mallado mucho más fino, con el fin de tener resultados más precisos en esta zona de interés, la dimensión de la malla en estos sectores se define entre 1 a 2 m. Ver Figura 55 y Figura 56.

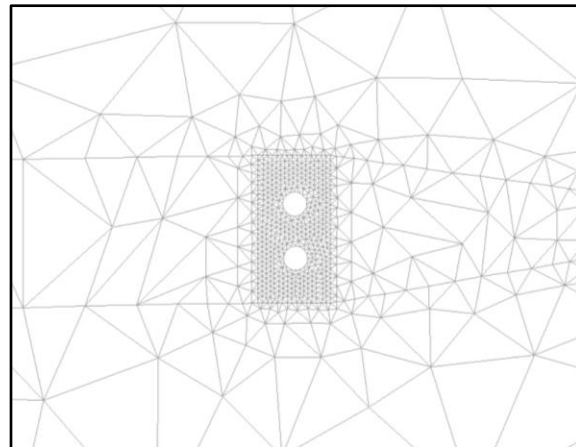


Figura 55. Mallado modelo escenario 1 puente Pumarejo 1974 Fuente: Elaboración propia

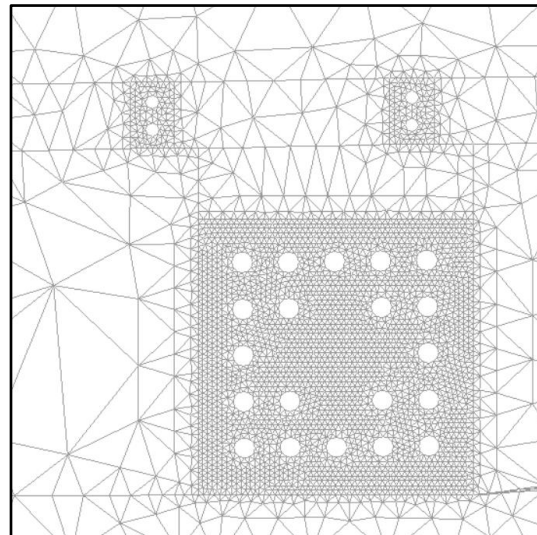


Figura 56. Mallado modelo escenario 2 ambos puentes Fuente: Elaboración propia

Capítulo 6 Resultados

Los resultados que a continuación se presentan, se extraen de los modelos hidrosedimentológicos realizados en IBER 2D, para los dos escenarios:

- Escenario 1 Modelo con puente Pumarejo antiguo 1974
- Escenario 2 Modelos con ambos puentes Pumarejo antiguo y nuevo 1974 y 2016

Los archivos del programa se encuentran en el Anexo 5 para el escenario 1 y en el Anexo 6 para el escenario 2.

6.1. Modulo hidrodinámico (velocidad)

El primer resultado a analizar corresponde a las variaciones en los vectores de velocidad en cuanto a dirección y magnitud de estos en la zona de los puentes. En la Figura 57 se pueden observar los resultados obtenidos de velocidad para el Escenario 1, específicamente en la zona del canal navegable, el cual es el sitio de interés para esta variable.

Se puede observar que el rango de velocidades en este sector, específicamente entre las pilas 20 y 21 del puente antiguo, que corresponde al canal navegable, las velocidades varían entre 1.25 m/s y 1.38 m/s.

En la Figura 58, se observan los resultados para el Escenario 2, en el mismo sector. Se puede observar en primera instancia que las pilas del nuevo puente generan un efecto sombra en las pilas del puente antiguo, disminuyendo la velocidad alrededor de estas últimas. Adicionalmente, en el canal navegable si se puede apreciar un aumento de la velocidad, llegando a valores hasta de 1.50 m/s en el canal navegable.

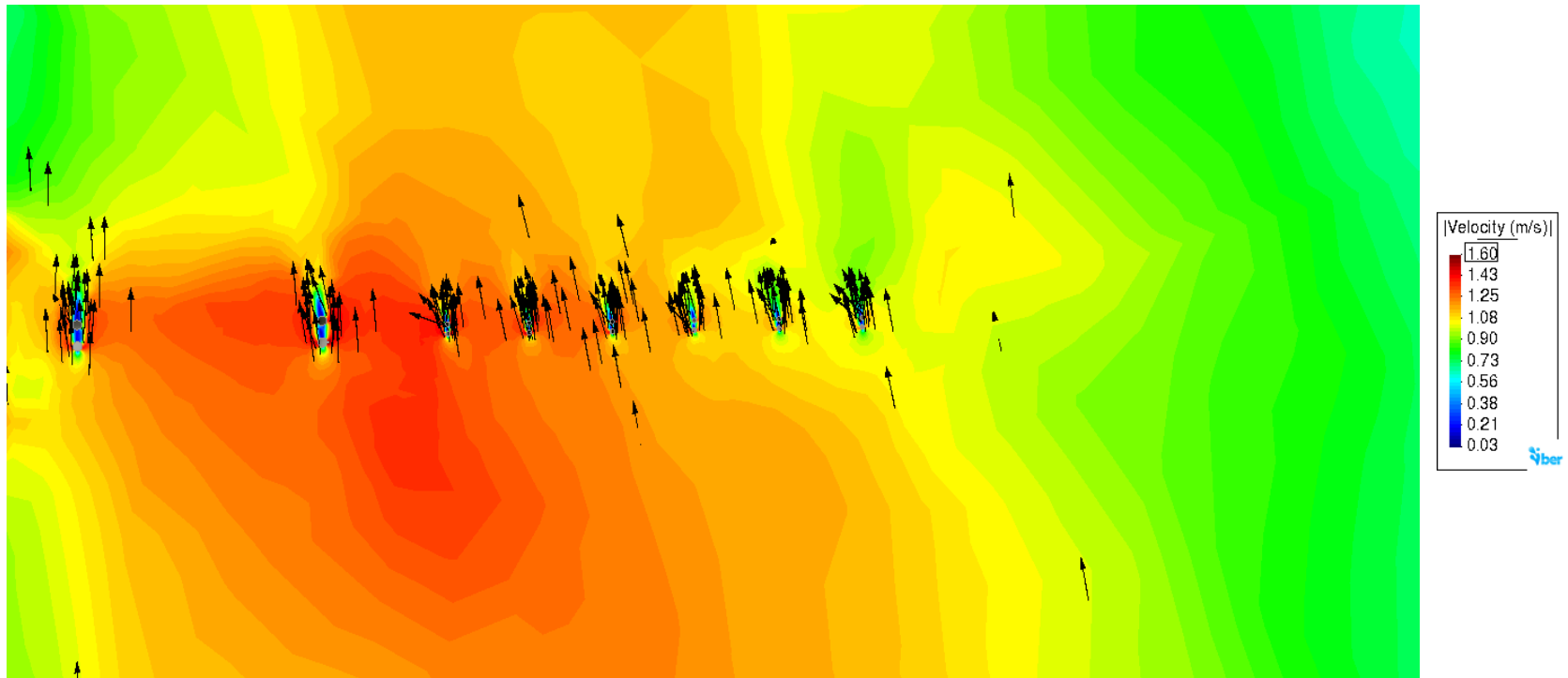


Figura 57. Resultados velocidad Escenario 1 Fuente: Elaboración propia

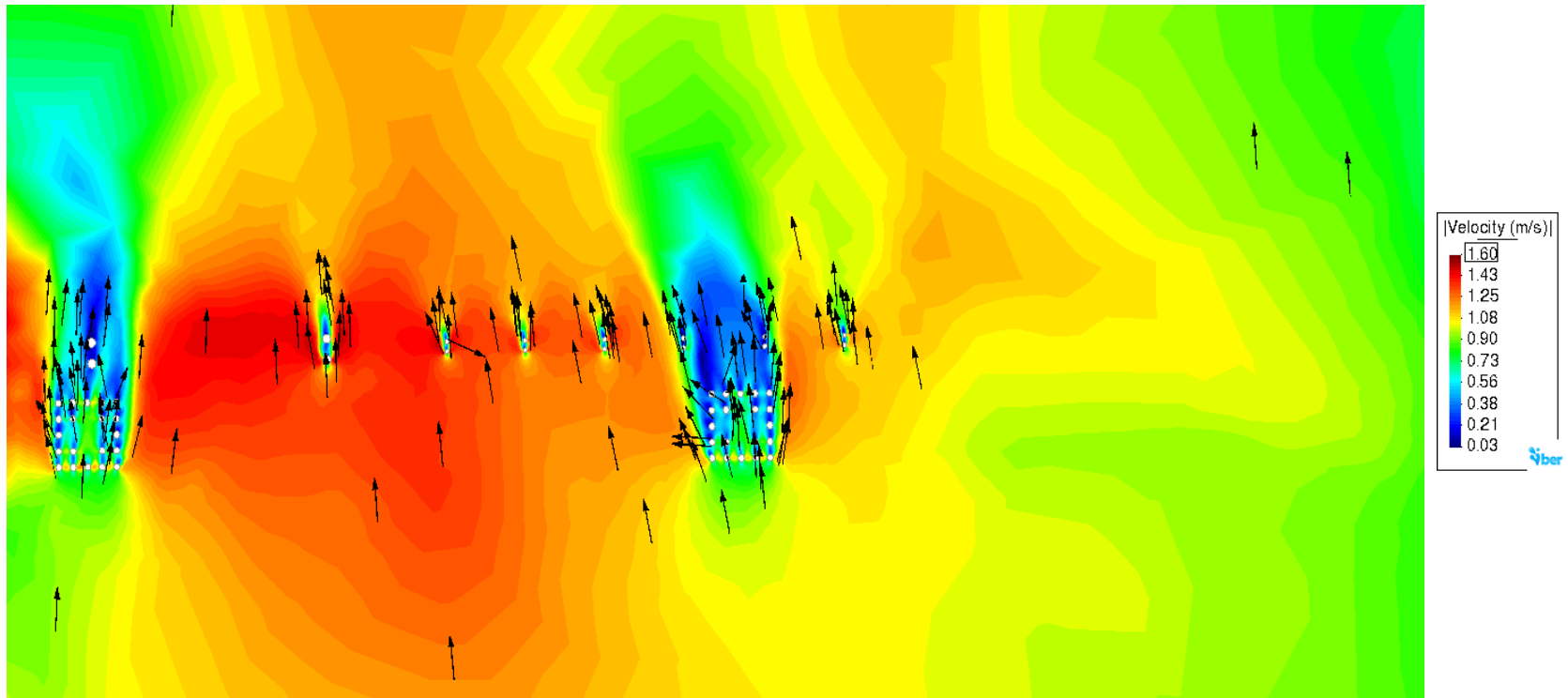


Figura 58. Resultados velocidad Escenario 2 Fuente: Elaboración propia

6.2. Modulo sedimentológico (erosión-depositación)

En el módulo de sedimentos del programa IBER 2D, se pueden obtener varios resultados al respecto; sin embargo, el que se considera más relevante para el análisis de la presente tesis corresponde al resultado de erosión.

A partir de este resultado, se puede evidenciar las zonas susceptibles a erosión y depositación, aclarando que los valores negativos corresponden a depositación y los valores positivos a erosión.

Se genera entonces el gráfico de salida correspondiente, limitando los resultados a un rango específico. Para los resultados de erosión se plantea un rango de 0.05 a 0.40 m; mientras que para los resultados de sedimentación se plantea un rango de -0.01 a -0.30 m. Esto con el fin de eliminar los resultados muy pequeños, que pueden generar confusión.

En la Figura 59 y Figura 60, se puede observar que la erosión con valores mayores a 0.05 m, se presenta únicamente alrededor de las pilas de cada uno de los puentes, luego el aumento de velocidad en la zona del canal navegable no produce efectos de erosión significativos. Se observa además que el efecto sombra que producen las pilas del puente nuevo, hacen que las pilas del puente antiguo no se vean afectadas por fenómenos de erosión.

En la Figura 61 y Figura 62, se puede observar que la sedimentación con valores menores a -0.01 m, se presenta únicamente en sectores cercanos a la zona de los puentes, y no se extiende hacia aguas abajo. Adicionalmente, se observa que los resultados de sedimentación en general son muy similares en ambas circunstancias, siendo la condición del Escenario 2 un poco más desfavorable al generar una zona más grande de sedimentación, con valores un poco mayores.

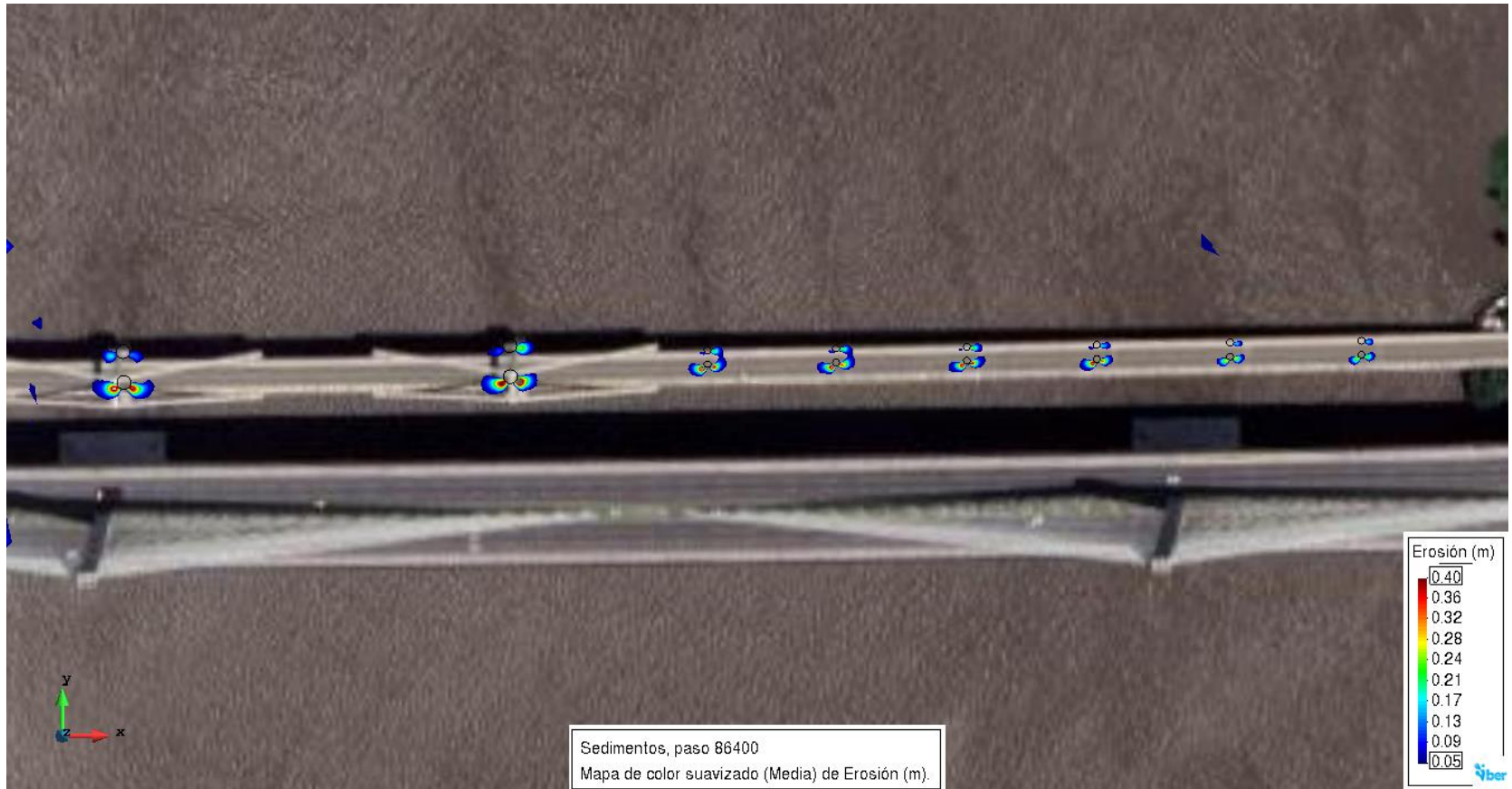


Figura 59. Resultados erosión rango 0.05 – 0.40 m Escenario 1 Fuente: Elaboración propia



Figura 60. Resultados erosión rango 0.05 – 0.40 m Escenario 2 Fuente: Elaboración propia



Figura 61. Resultados sedimentación rango -0.01 – -0.30 m Escenario 1 Fuente: Elaboración propia



Figura 62. Resultados sedimentación rango -0.01 – -0.30 m Escenario 2 Fuente: Elaboración propia

Se confirma por medio de los resultados del modelo, que la afectación del nuevo puente es de tipo local; es decir, que los efectos en el cambio de transporte de sedimentos de los procesos de erosión y depositación se generan en los alrededores del puente, y no se transmiten hacia aguas abajo.

Adicionalmente, se realiza el análisis comparativo de secciones transversales para los dos escenarios planteados, en cada una de las secciones de control planteadas en la Figura 47. Este análisis se realiza con base en la sección topográfica del instante inicial de modelación para referencia. Los resultados se presentan en la Figura 63 a la Figura 66.

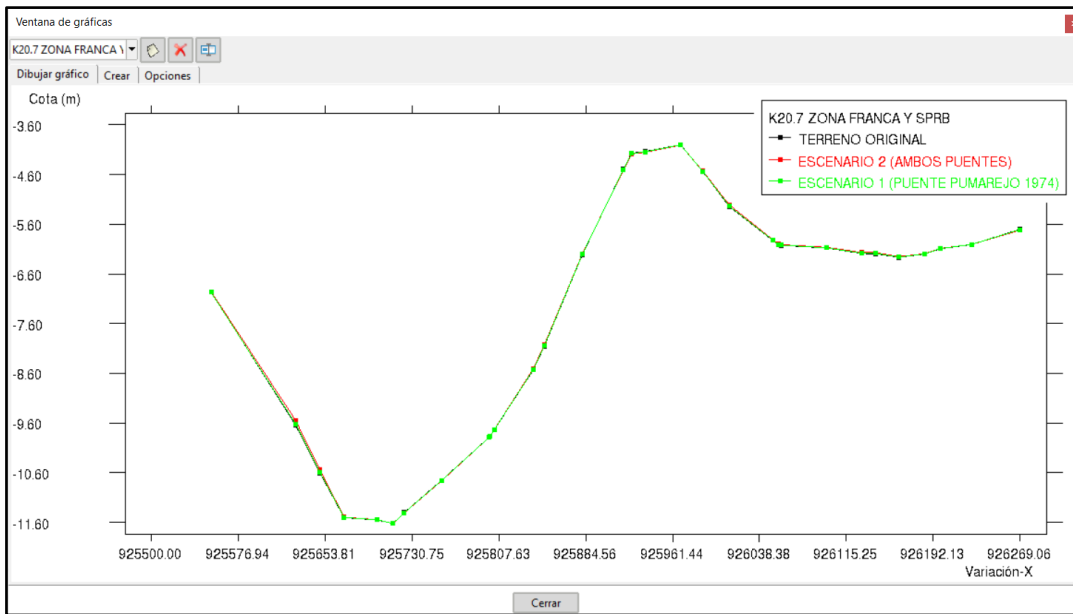


Figura 63. Comparación secciones K20+700 Zona Franca y SPRB Fuente: Elaboración propia

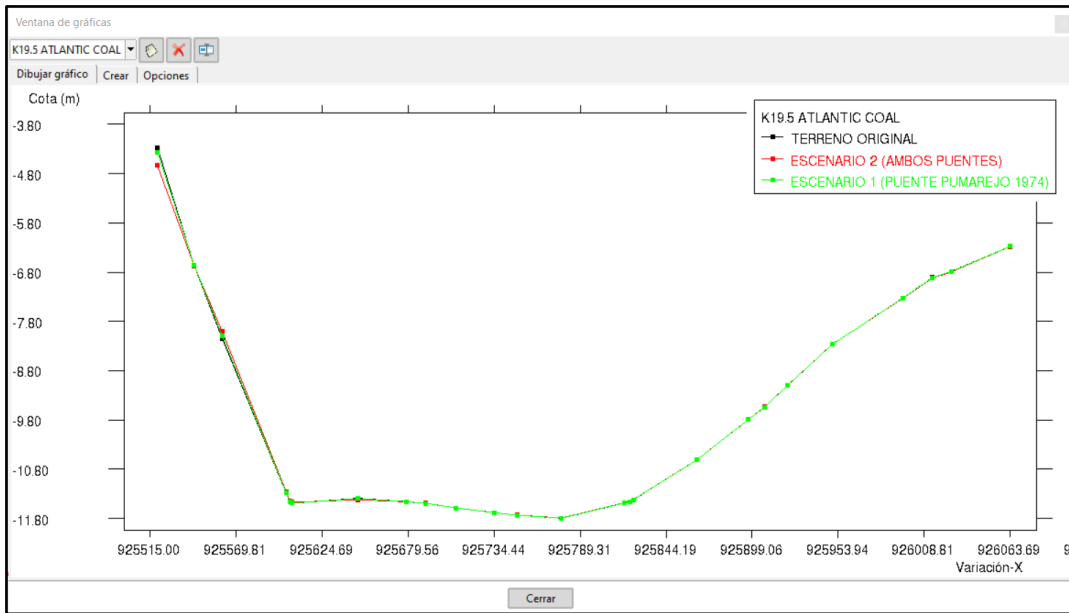


Figura 64. Comparación secciones K19+500 Atlantic Coal Fuente: Elaboración propia

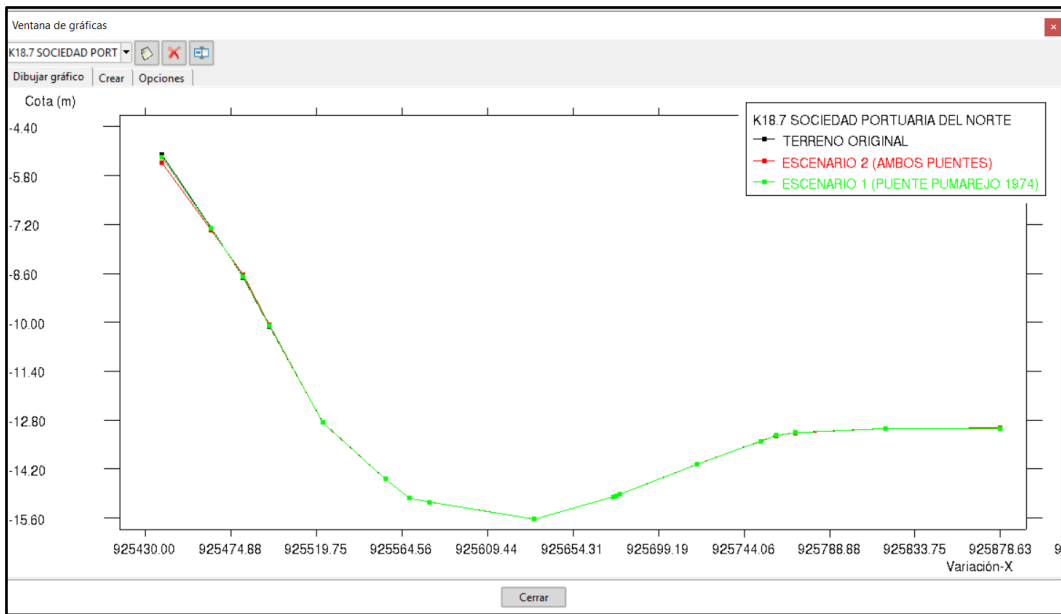


Figura 65. Comparación secciones K18+700 Sociedad Portuaria del Norte Fuente: Elaboración propia

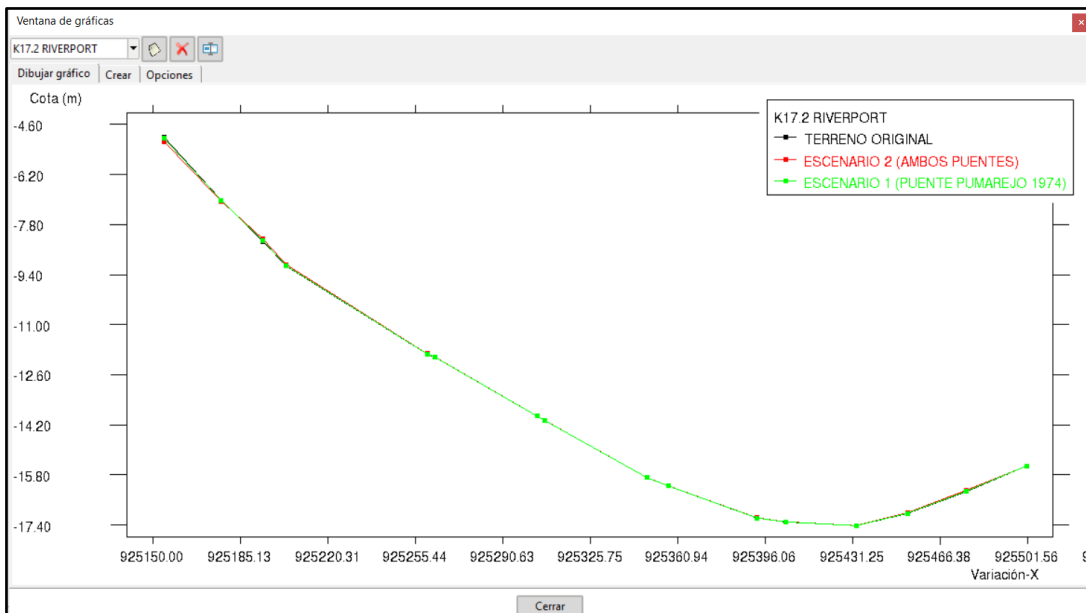


Figura 66. Comparación secciones K17+200 RIVERPORT Fuente: Elaboración propia

Se verifica en las figuras de resultados, que para ninguna de las secciones de control se observa un cambio significativo que indique procesos de erosión o sedimentación entre las modelaciones del escenario 1 y el escenario 2. Se identifican algunos leves cambios hacia las márgenes, pero se considera que estos se deben a diferencias de datos por temas de mallado hacia los contornos, ya que varía entre un modelo y otro.

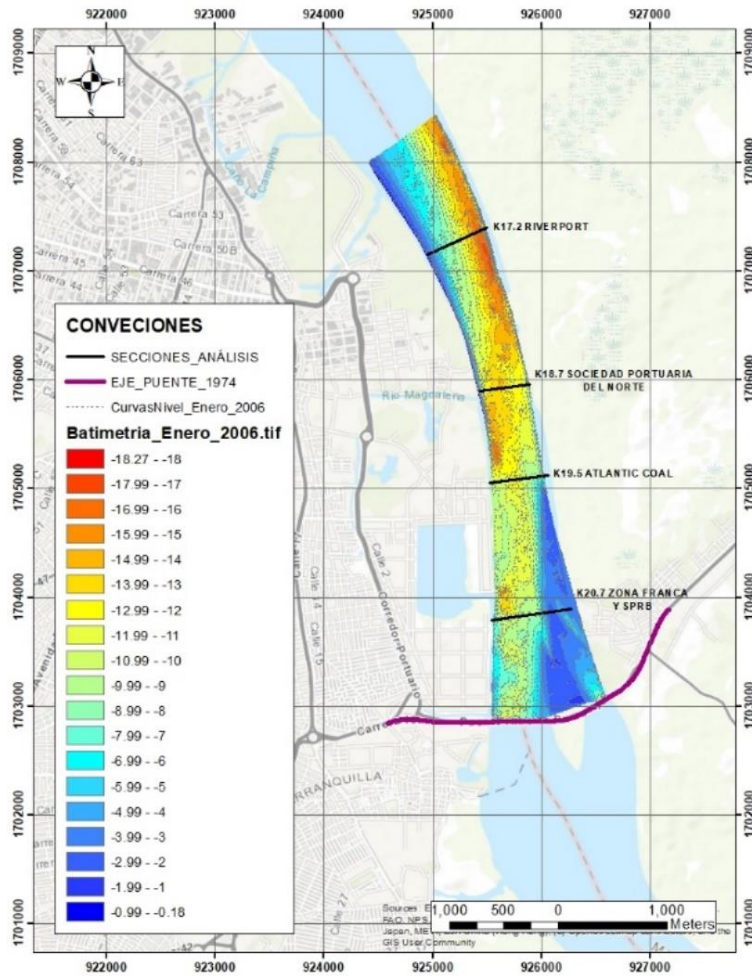
Esto coincide con los resultados obtenidos en el informe Estudios y Diseños Mejoramiento en la Infraestructura y Navegación del Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla hasta el Sector de PIMSA del año 2019, del cual, no se obtuvo copia, pero si se conocen los resultados a partir de los comentarios técnicos generales realizados al informe, los cuales son de libre acceso en internet. (Alvarado, 2019).

6.3. Análisis temporal de batimetrías

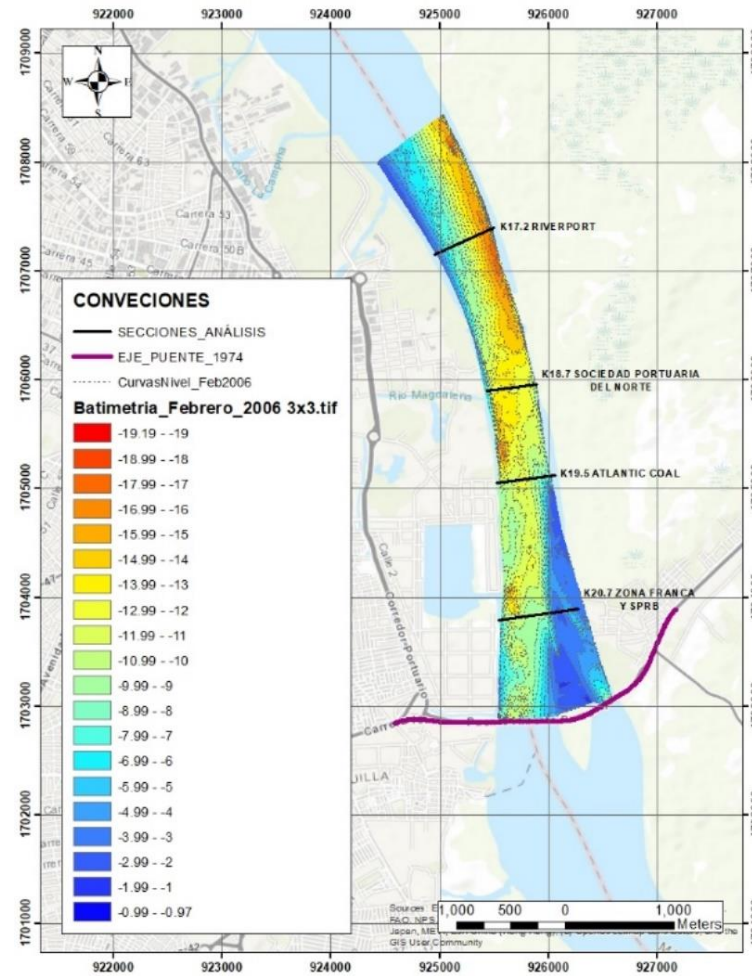
Teniendo en cuenta que se poseen una serie de batimetrías de un periodo bastante largo (2006 – 2017), el cual incluye la fecha de inicio de construcción del puente, se considera valioso poder realizar un análisis multitemporal de unos sectores en específico. Estos sectores se definen de tal manera que coincidan con las terminales portuarias más importantes en este sector de análisis, por lo tanto, los sectores definidos son:

- K17+200 Sociedad Portuaria RIVERPORT
- K18+700 Sociedad Portuaria del Norte
- K19+500 Atlantic Coal
- K20+700 Zona Franca y Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla SPRB

En la Figura 67 a la Figura 102 se pueden observar las batimetrías de cada uno de los meses que se posee información, según lo consignado en la Tabla 8. Allí se puede observar la variación que ha tenido el canal navegable, con cotas de fondo variables entre -12.0 y -19 msnm en algunos sectores. Se observa también el cambio morfodinámico de reducción de la margen izquierda desde el año 2012 en adelante, observando que definitivamente, desde el año 2015 en adelante, las batimetrías son más angostas en este sector del K18+000, ya que se ha sedimentado y las embarcaciones encargadas de realizar la batimetría no pueden ingresar.

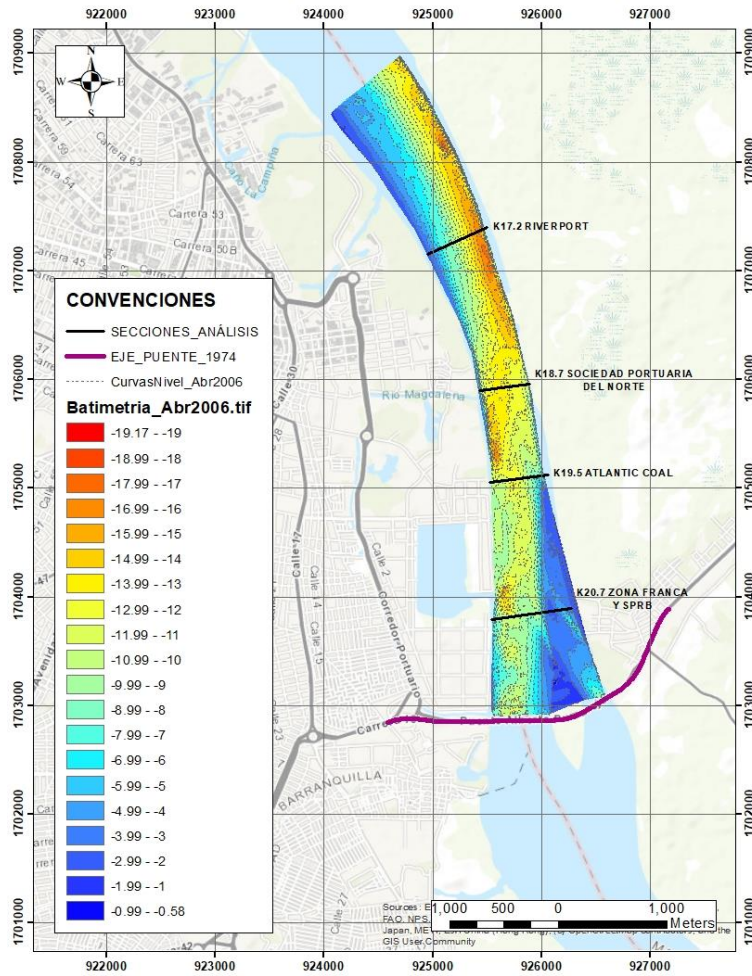


Enero 2006

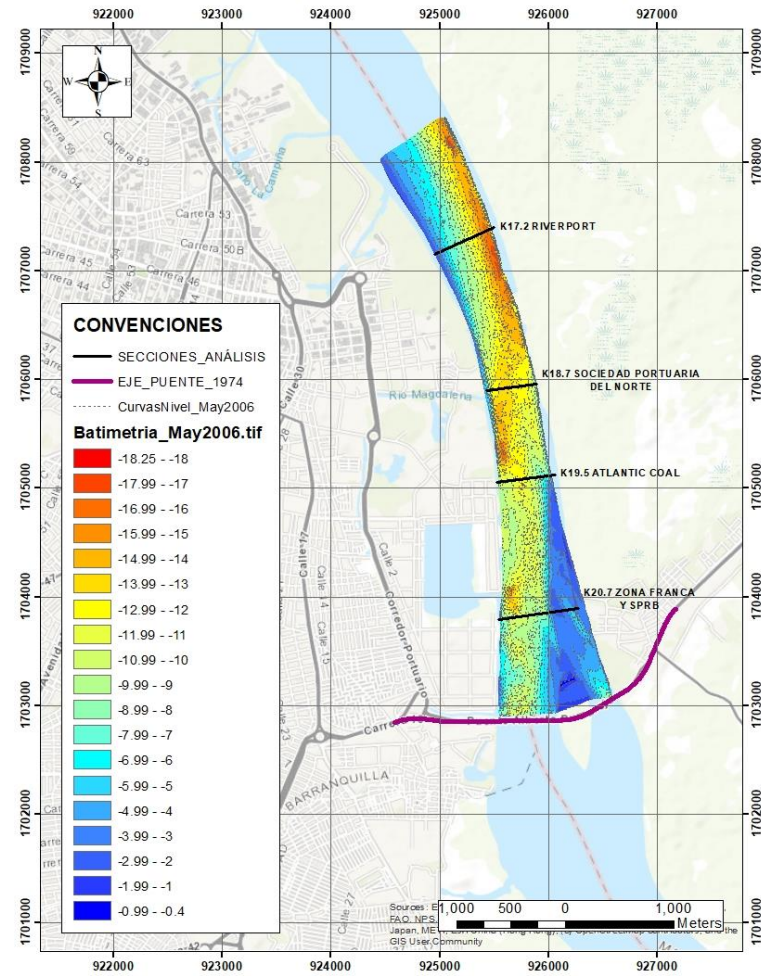


Febrero 2006

Figura 67. Modelo batimétrico enero y febrero 2006 Fuente: Elaboración propia

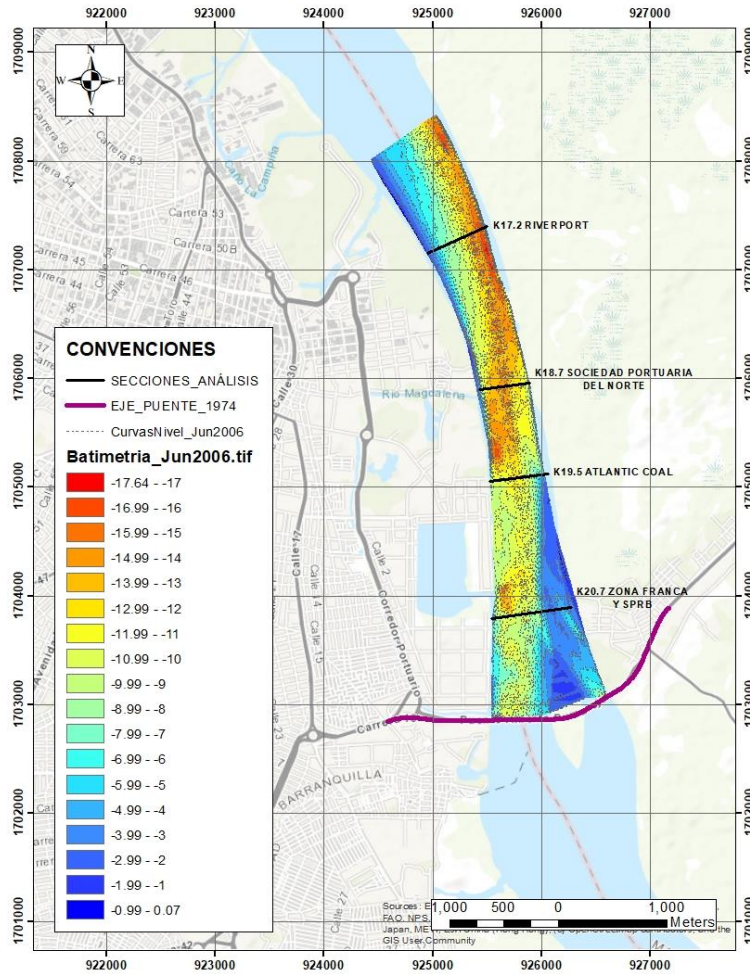


Abril 2006

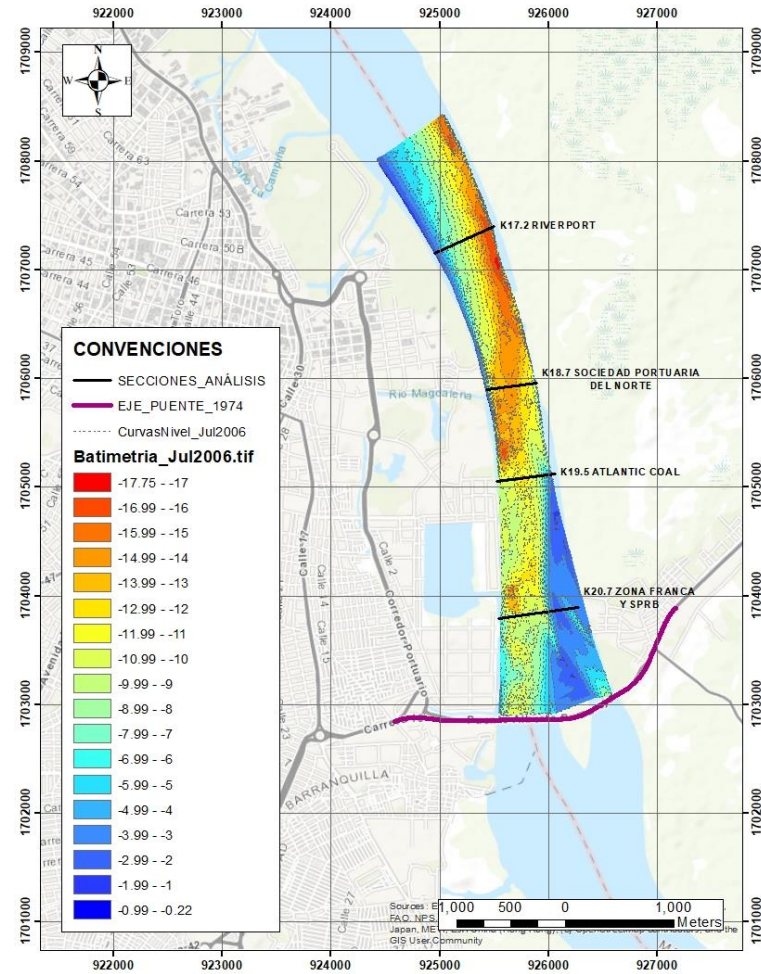


Mayo 2006

Figura 68. Modelo batimétrico abril y mayo 2006 Fuente: Elaboración propia

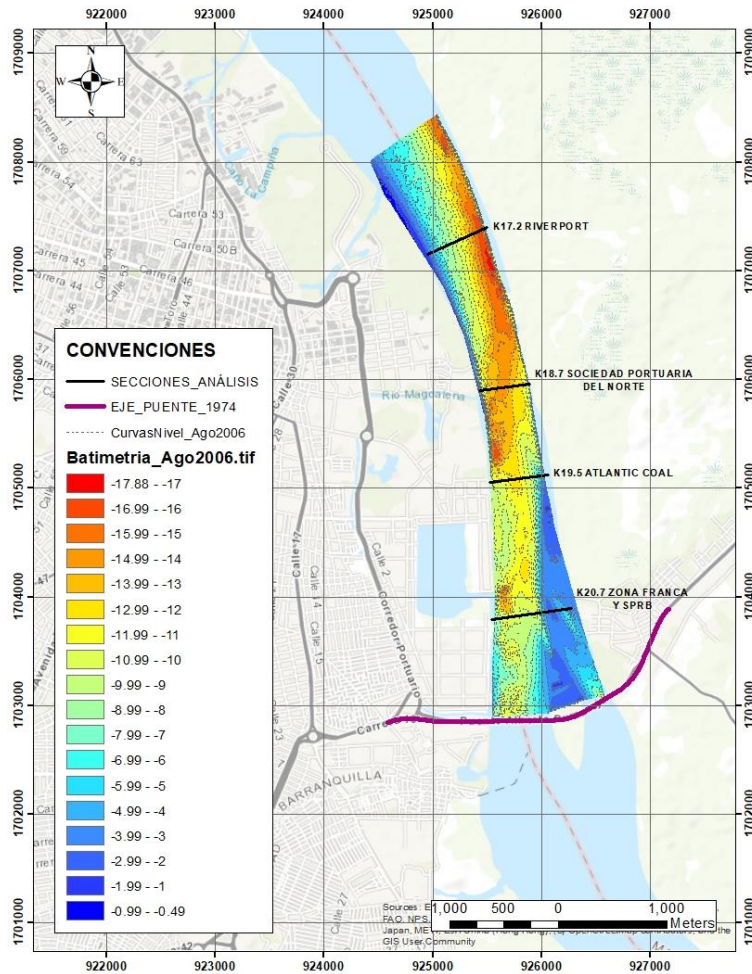


Junio 2006

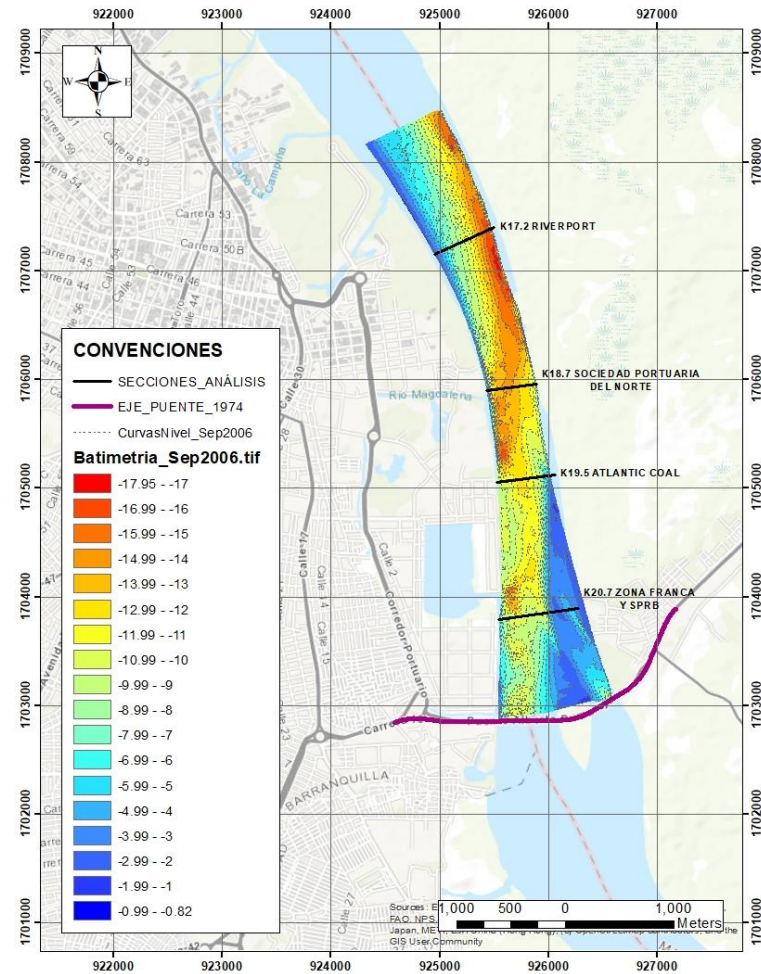


Julio 2006

Figura 69. Modelo batimétrico junio y julio 2006 Fuente: Elaboración propia

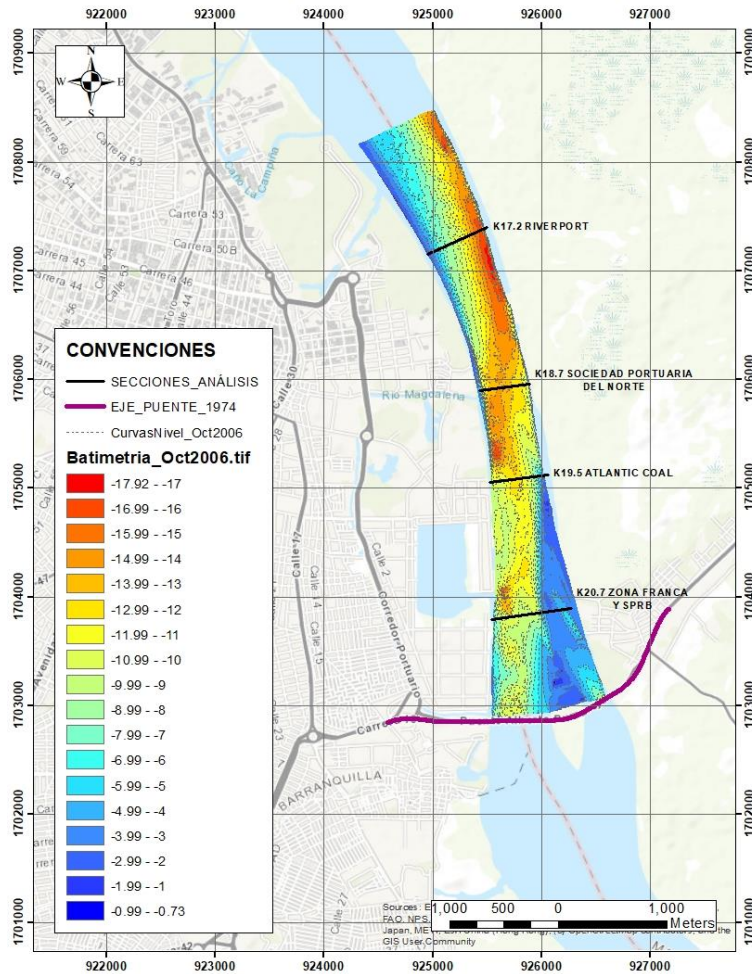


Agosto 2006

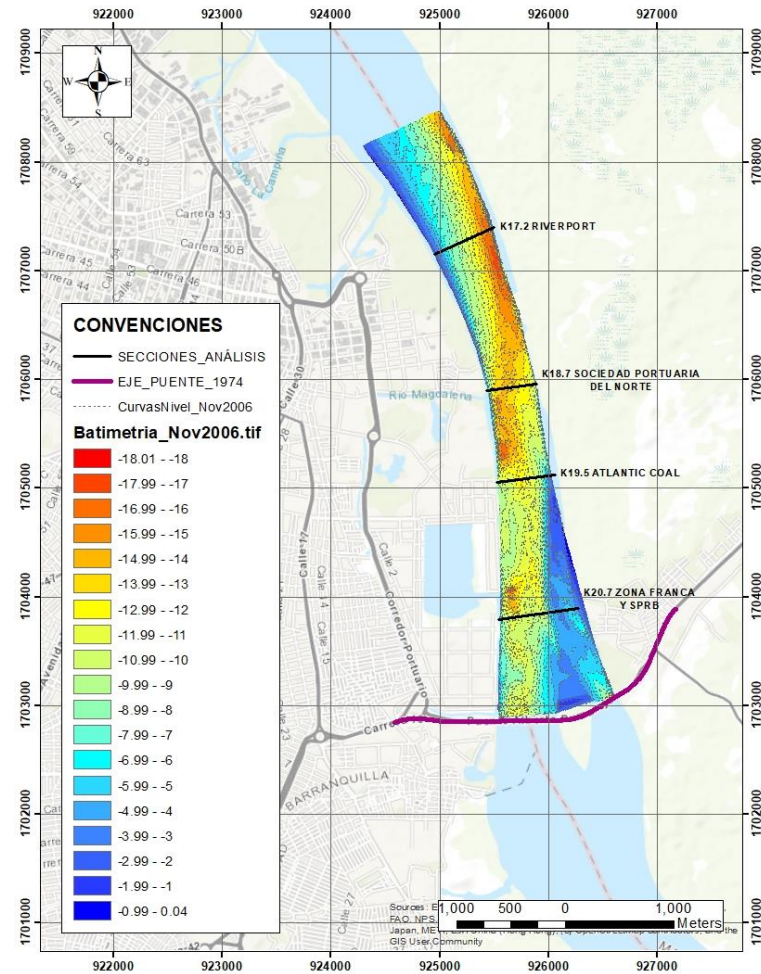


Septiembre 2006

Figura 70. Modelo batimétrico agosto y septiembre 2006 Fuente: Elaboración propia

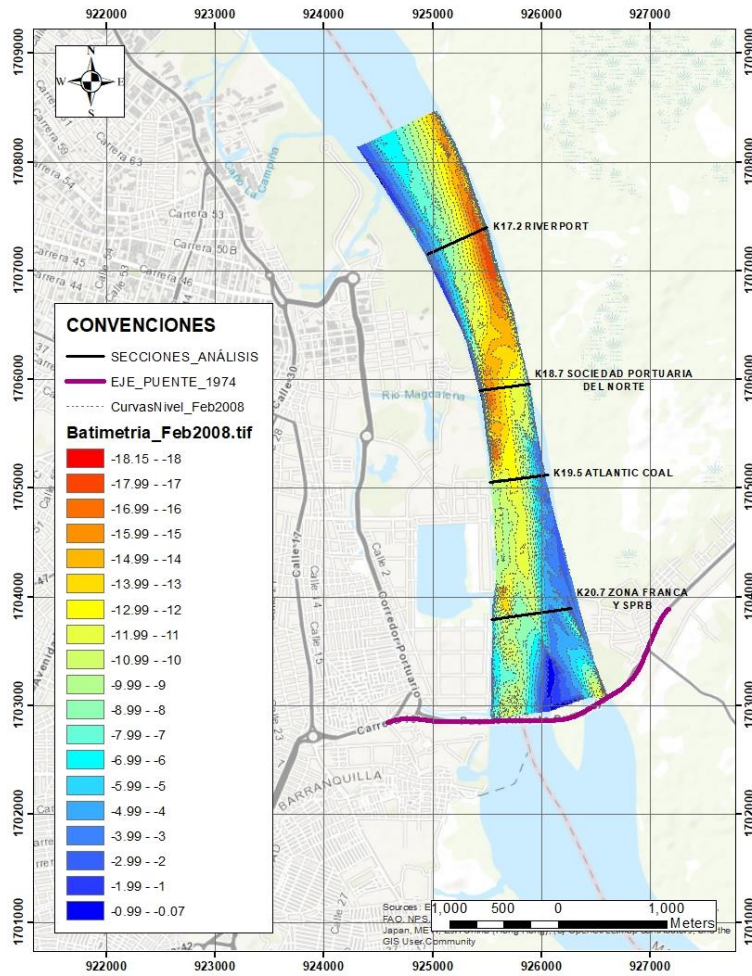


Octubre 2006

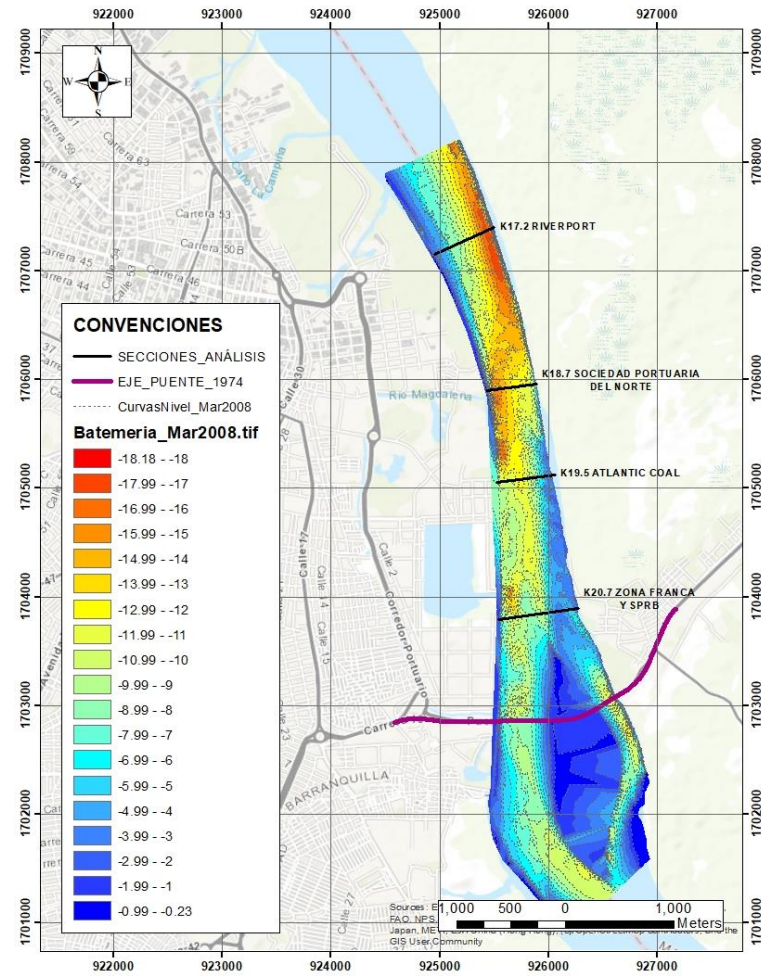


Noviembre 2006

Figura 71. Modelo batimétrico octubre y noviembre 2006 Fuente: Elaboración propia

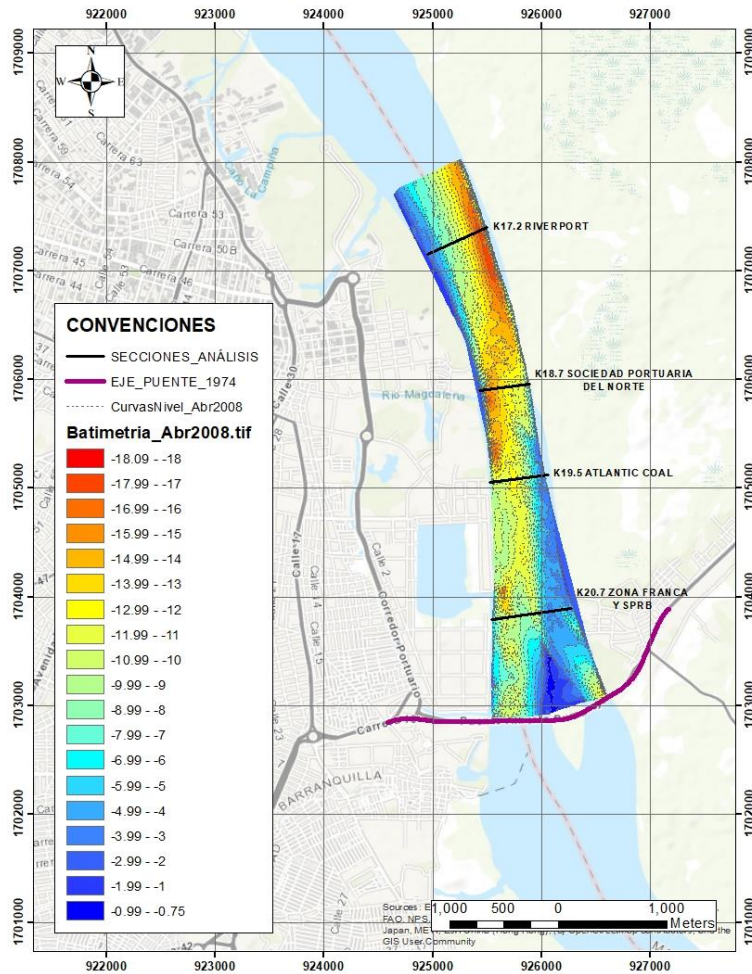


Febrero 2008

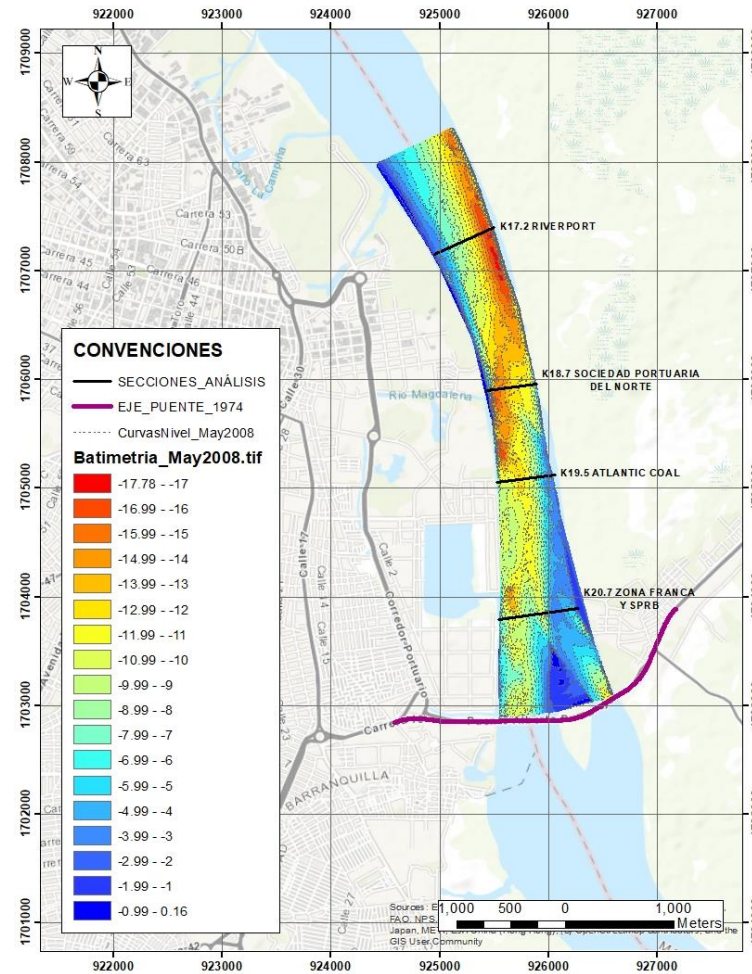


Marzo 2008

Figura 72. Modelo batimétrico febrero y marzo 2008 Fuente: Elaboración propia

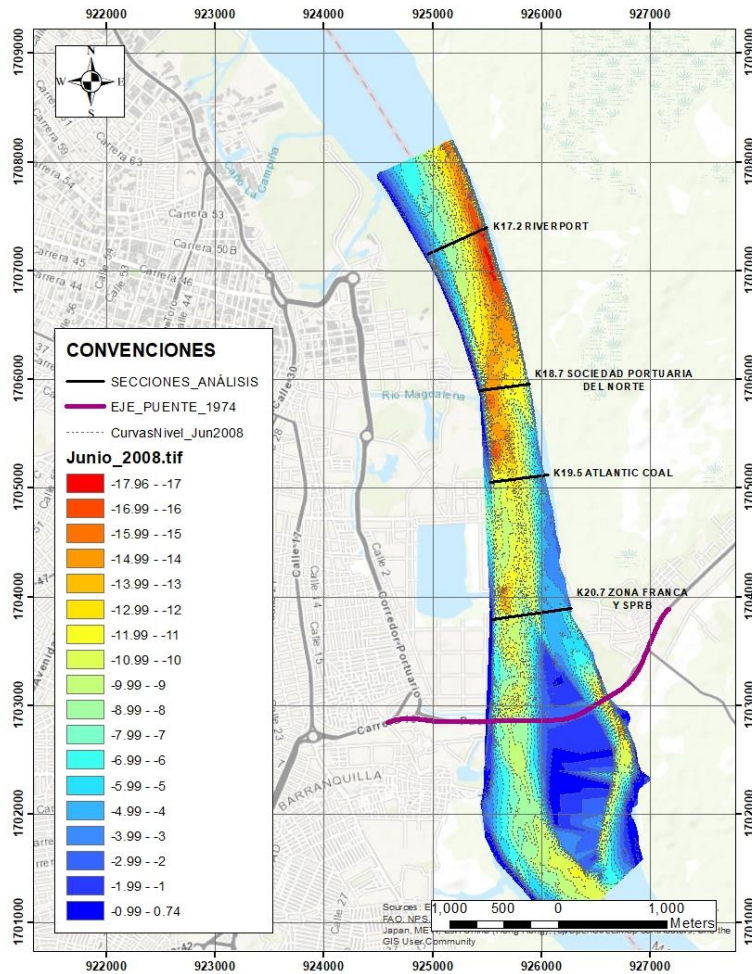


Abril 2008

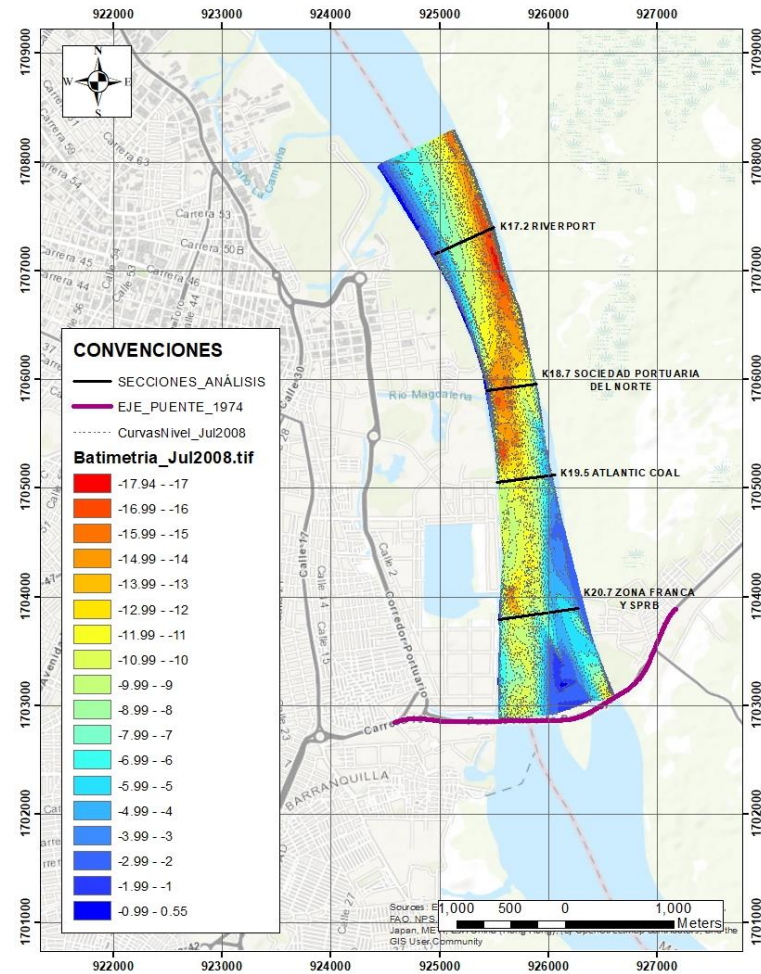


Mayo 2008

Figura 73. Modelo batimétrico abril y mayo 2008 Fuente: Elaboración propia

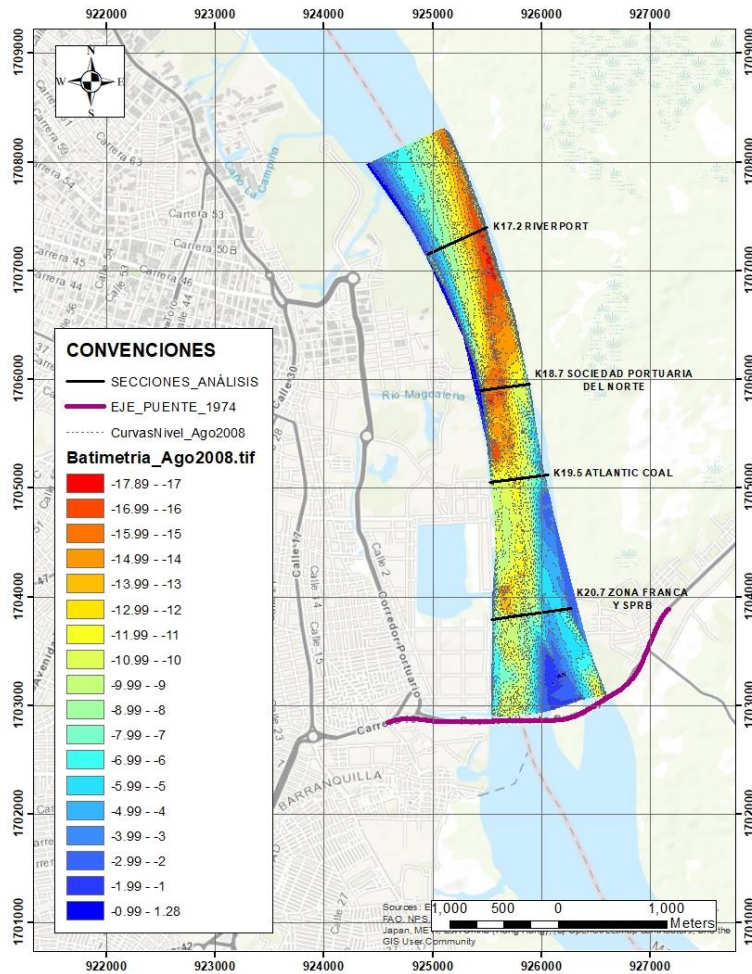


Junio 2008

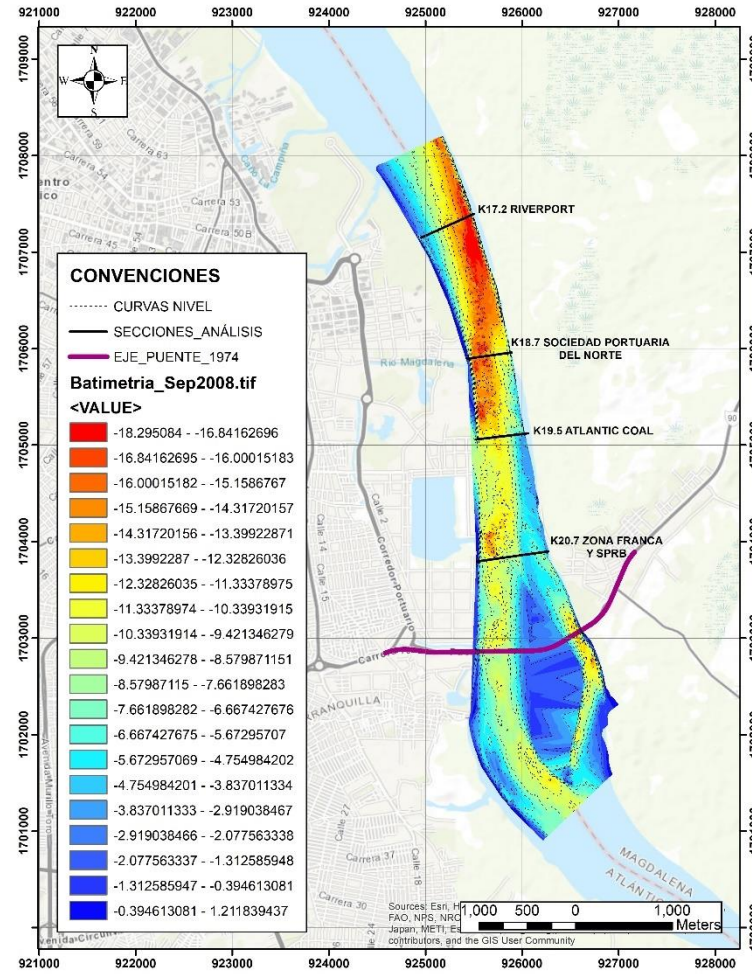


Julio 2008

Figura 74. Modelo batimétrico junio y julio 2008 Fuente: Elaboración propia

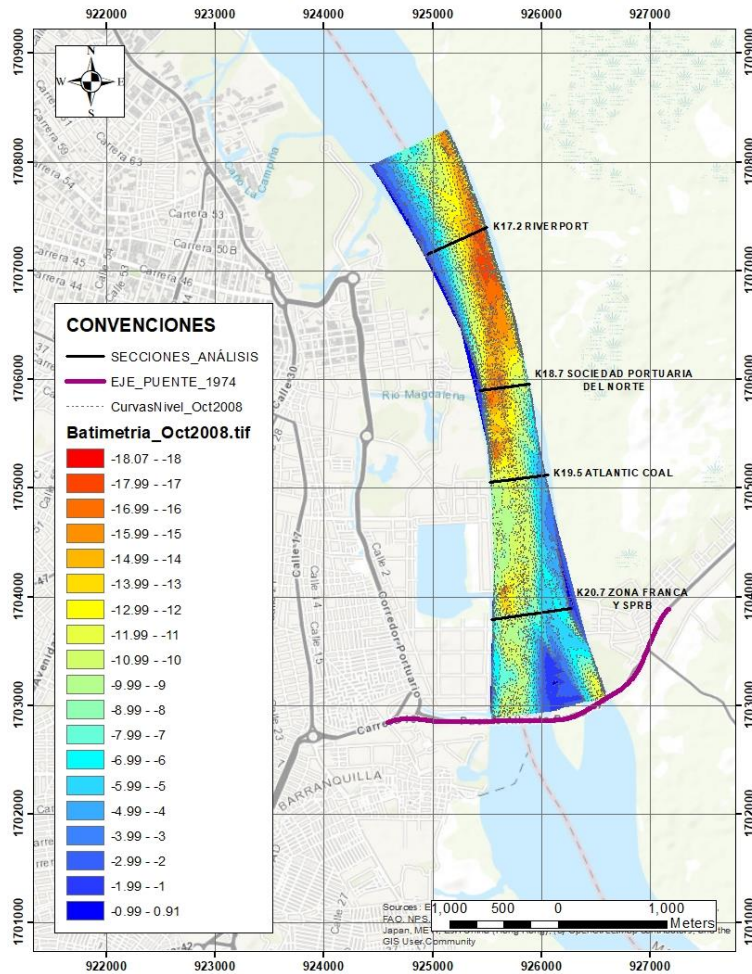


Agosto 2008

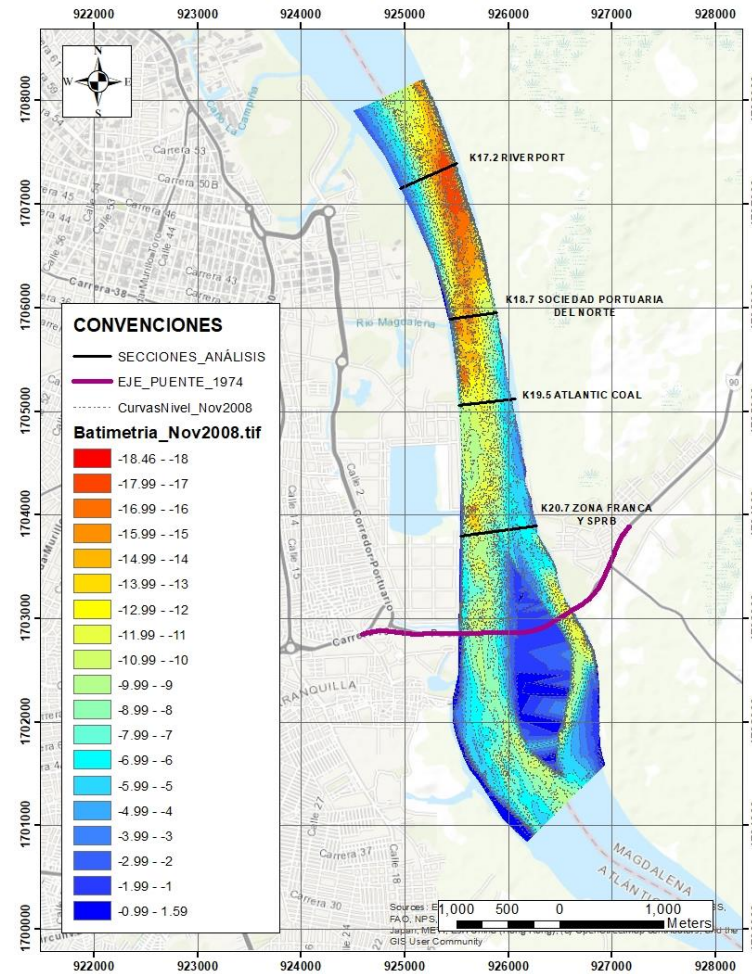


Septiembre 2008

Figura 75. Modelo batimétrico agosto y septiembre 2006 Fuente: Elaboración propia

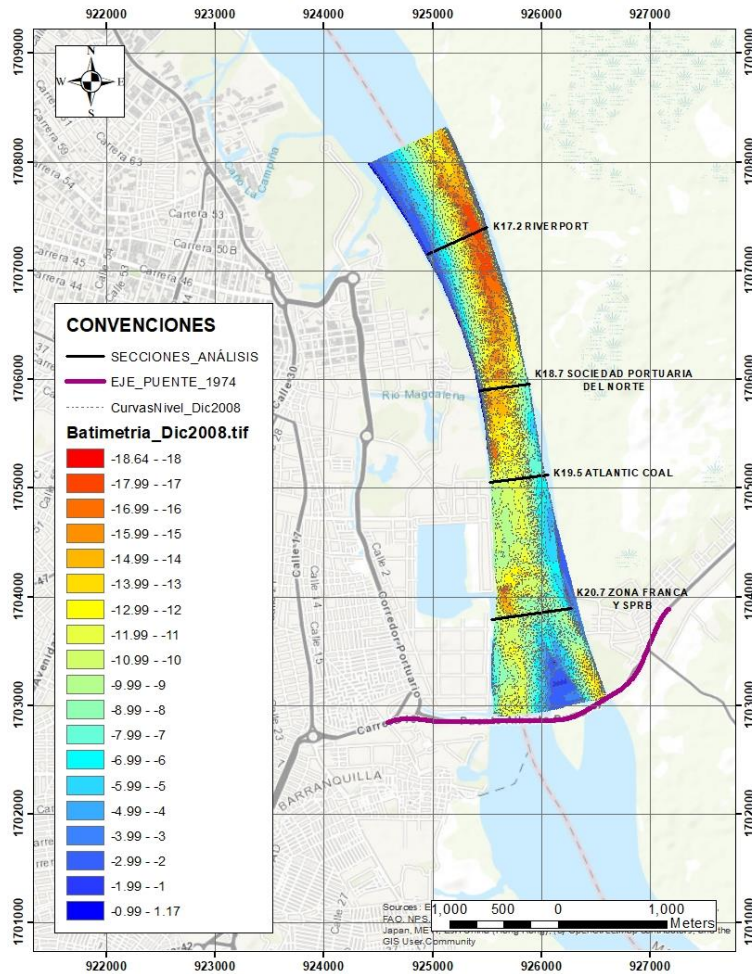


Octubre 2008

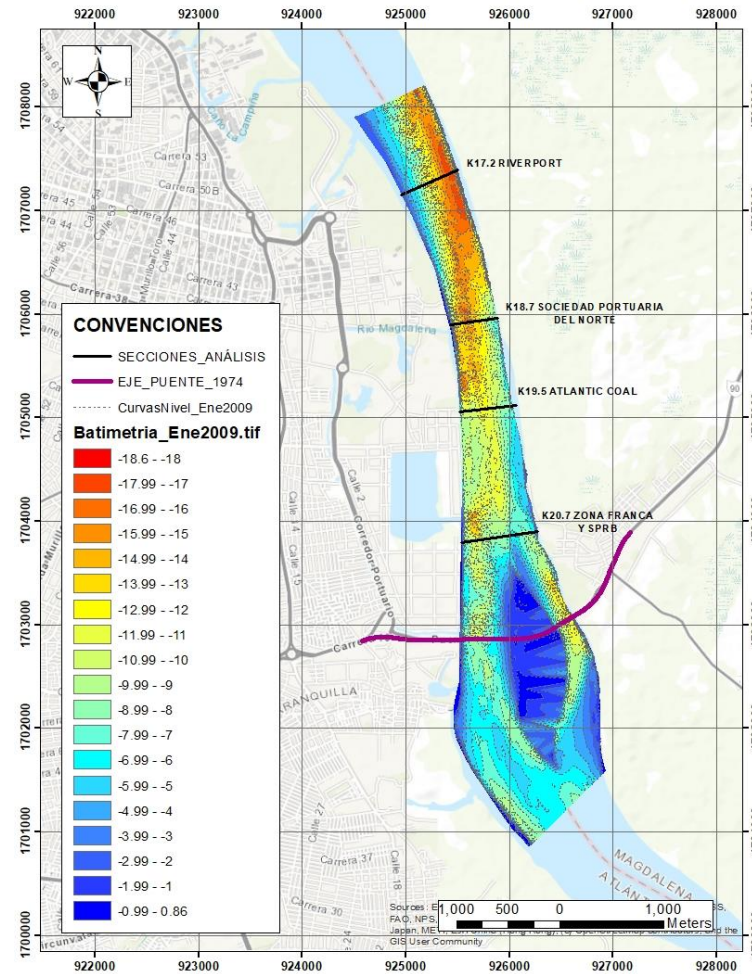


Noviembre 2008

Figura 76. Modelo batimétrico octubre y noviembre 2008 Fuente: Elaboración propia

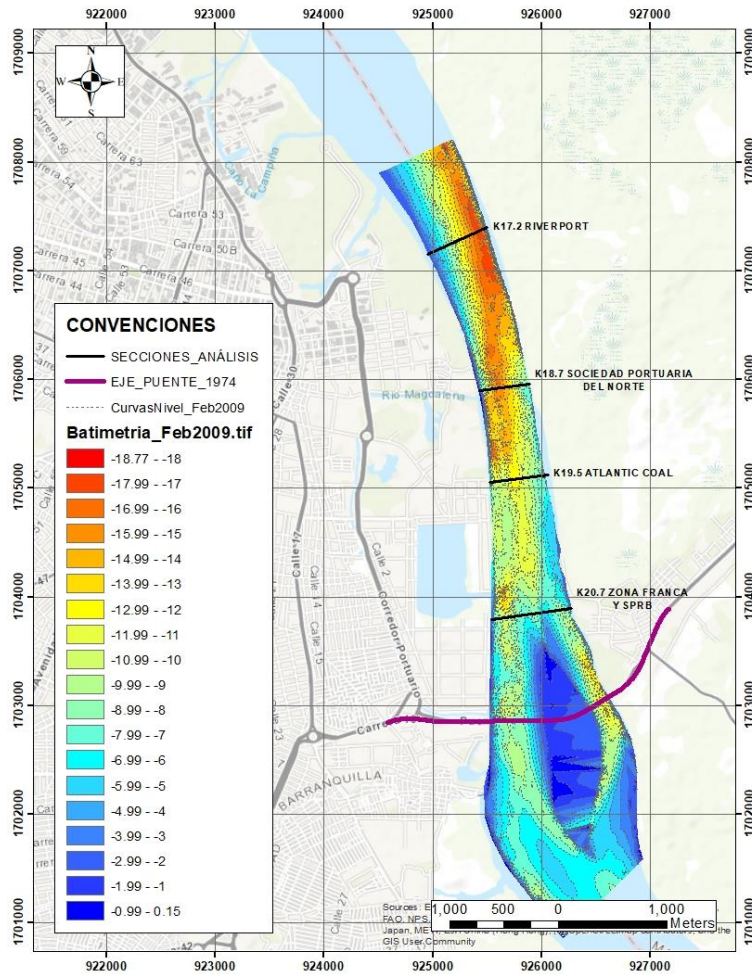


Diciembre 2008

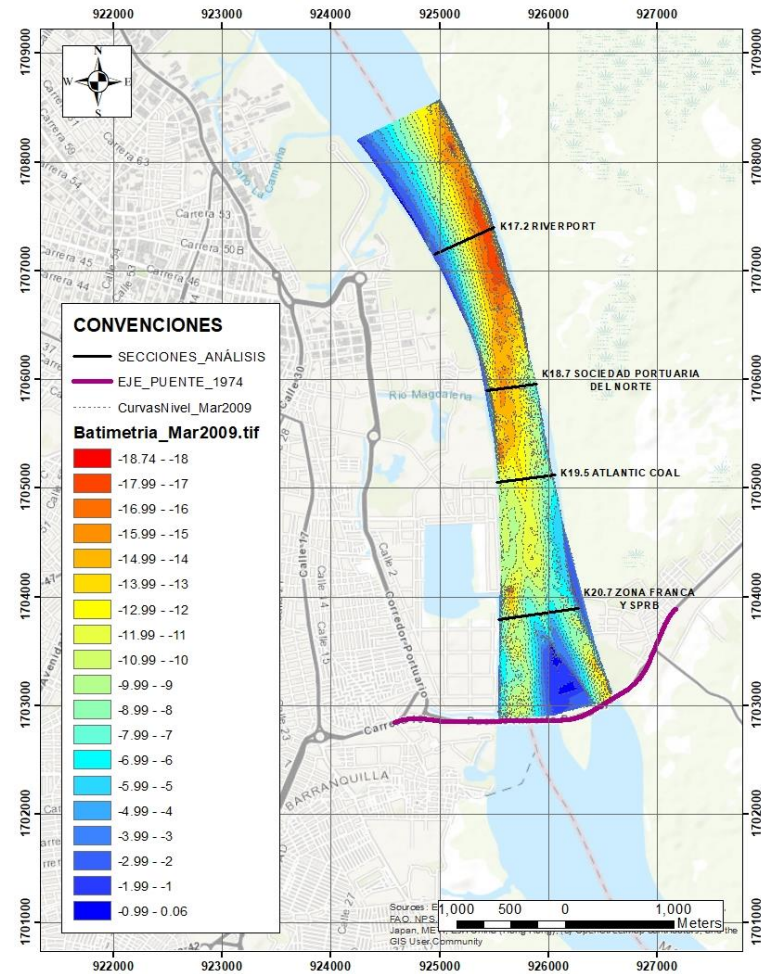


Enero 2009

Figura 77. Modelo batimétrico diciembre 2008 y enero 2009 Fuente: Elaboración propia

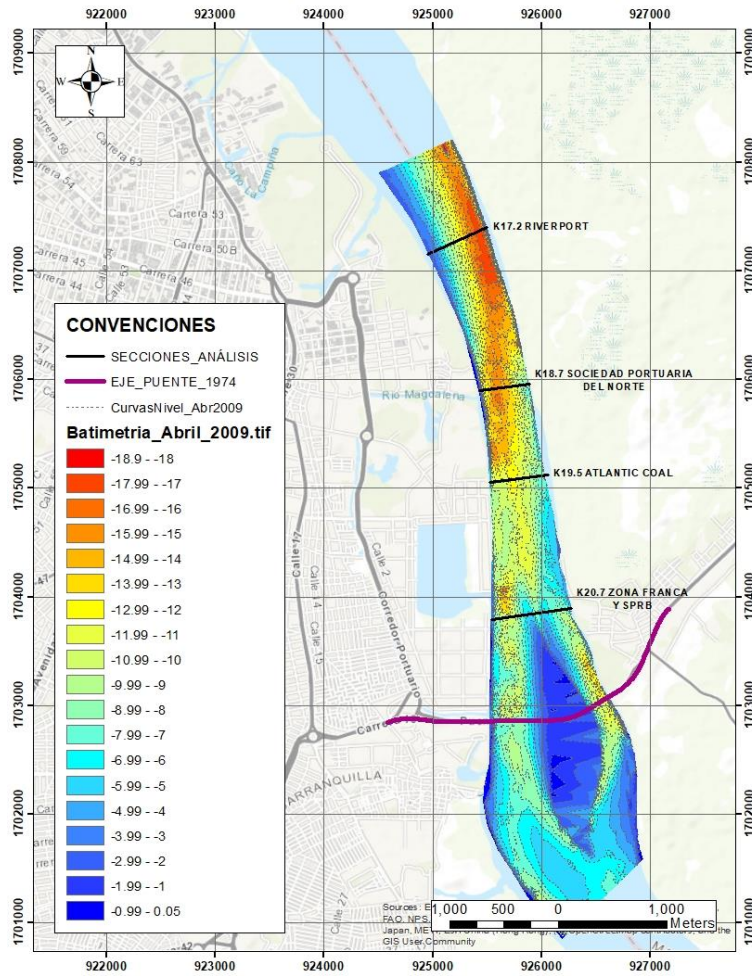


Febrero 2009

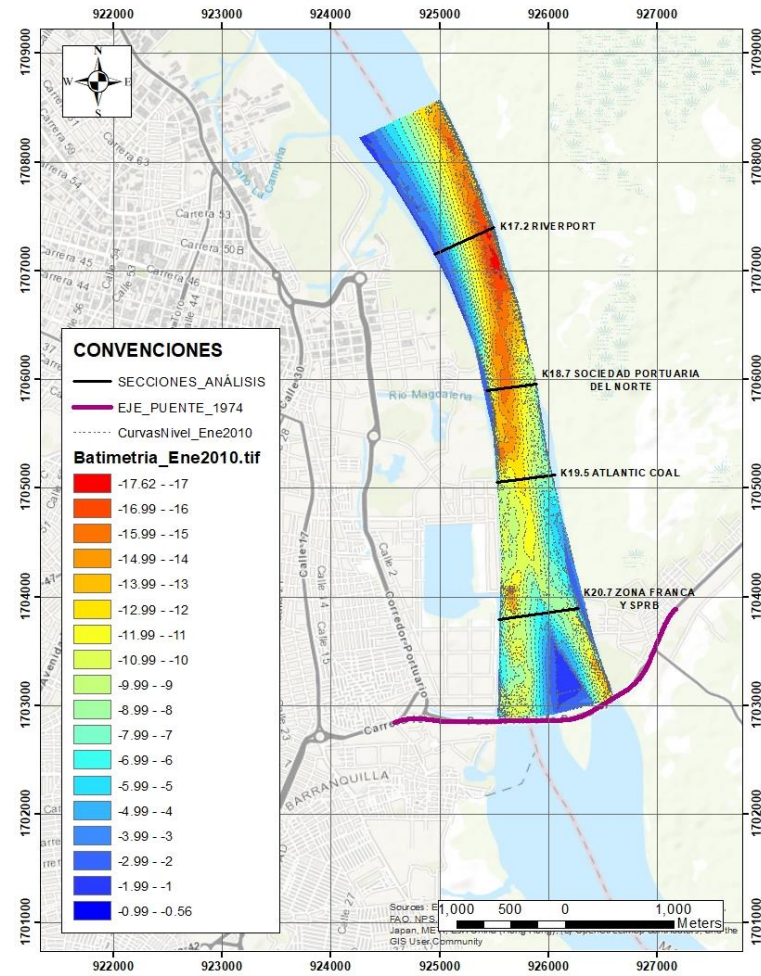


Marzo 2009

Figura 78. Modelo batimétrico febrero y marzo 2009 Fuente: Elaboración propia

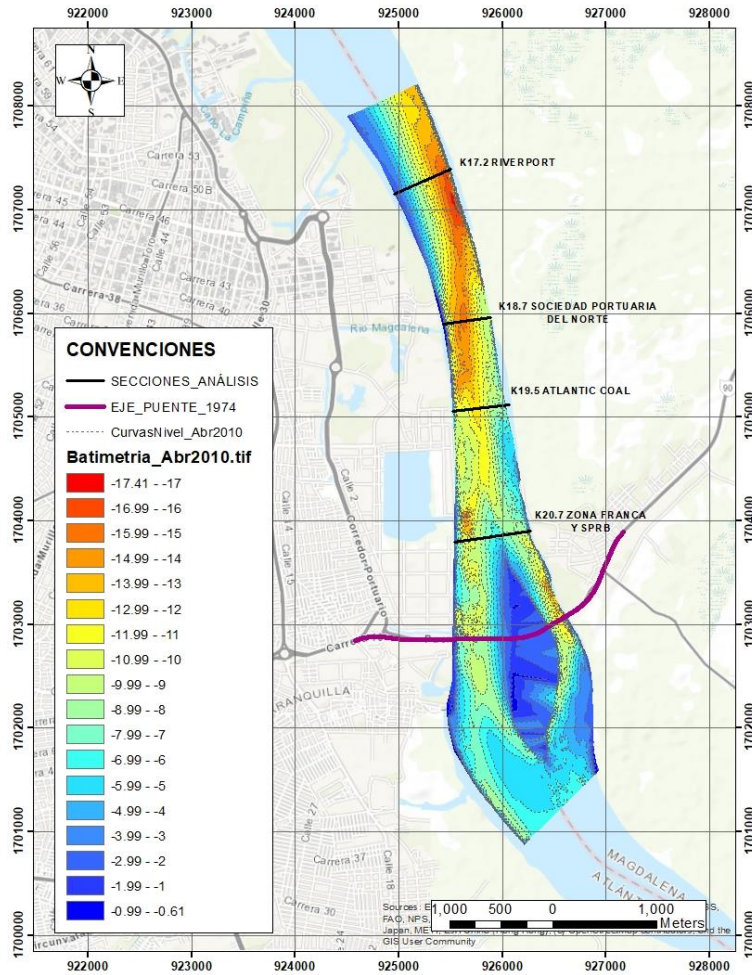


Abril 2009

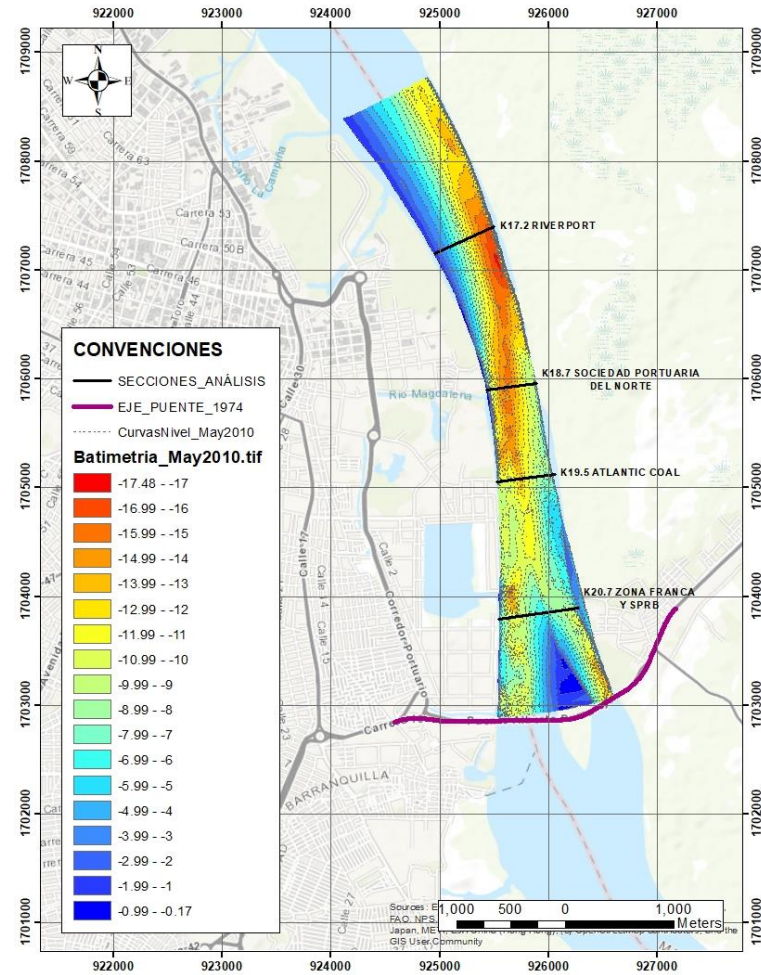


Enero 2010

Figura 79. Modelo batimétrico abril 2009 y enero 2010 Fuente: Elaboración propia

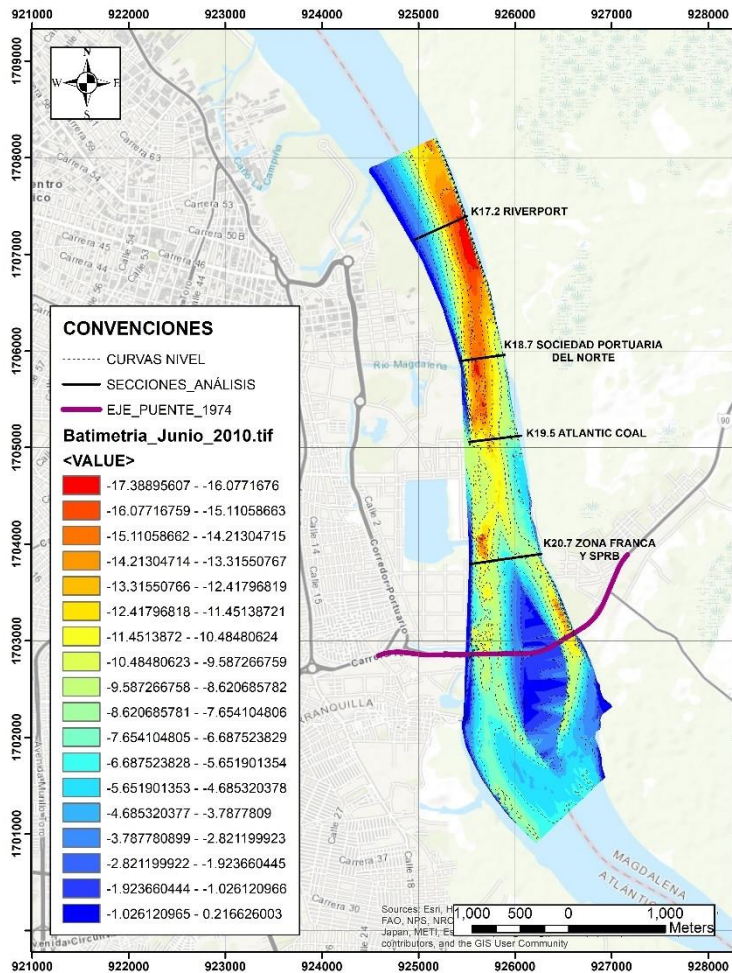


Abril 2010

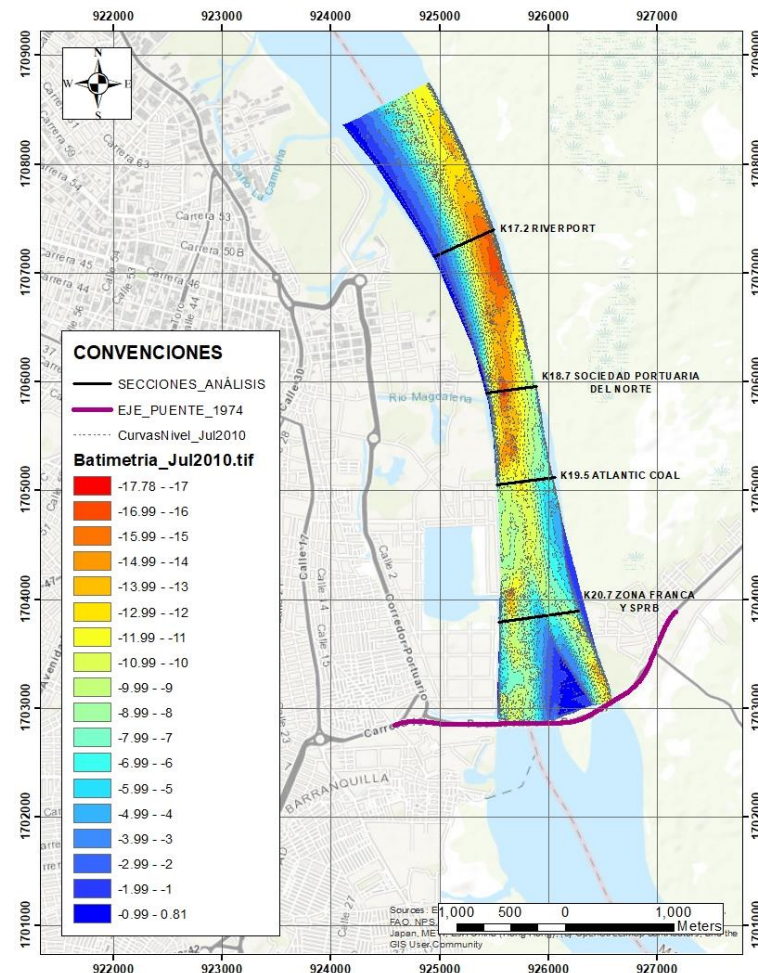


Mayo 2010

Figura 80. Modelo batimétrico abril y mayo 2010 Fuente: Elaboración propia

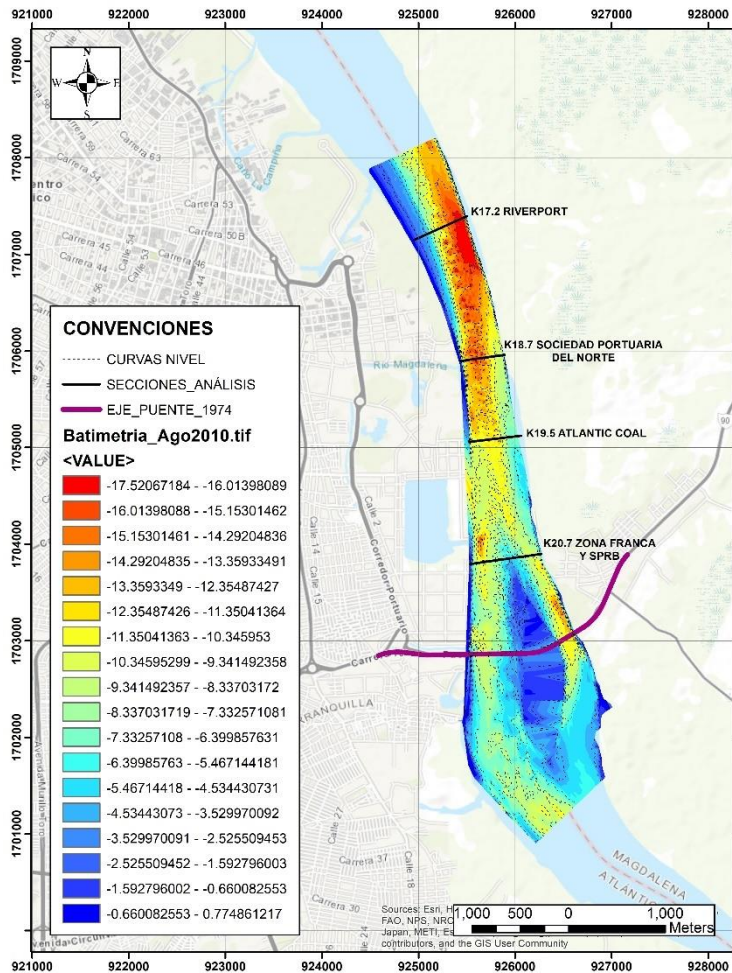


Junio 2010

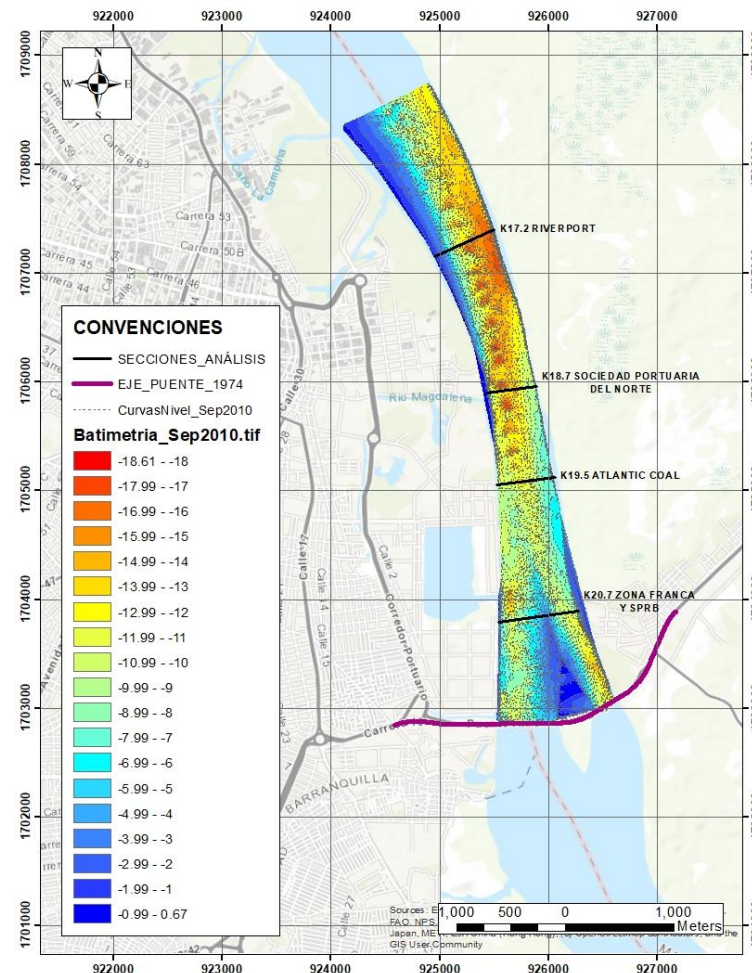


Julio 2010

Figura 81. Modelo batimétrico junio y julio 2010 Fuente: Elaboración propia

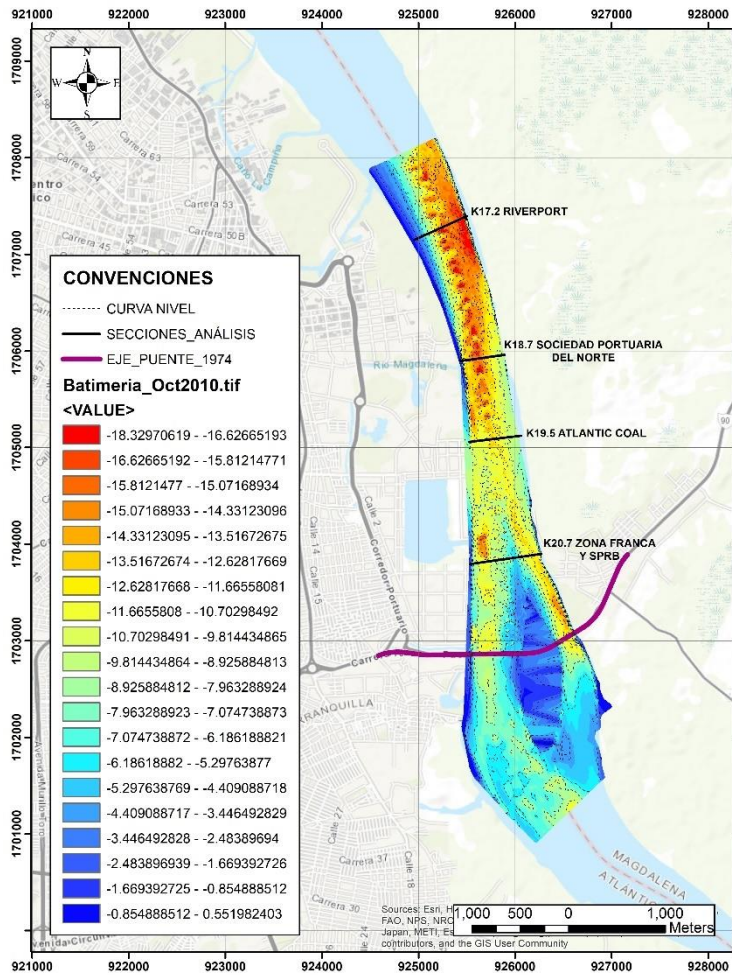


Agosto 2010

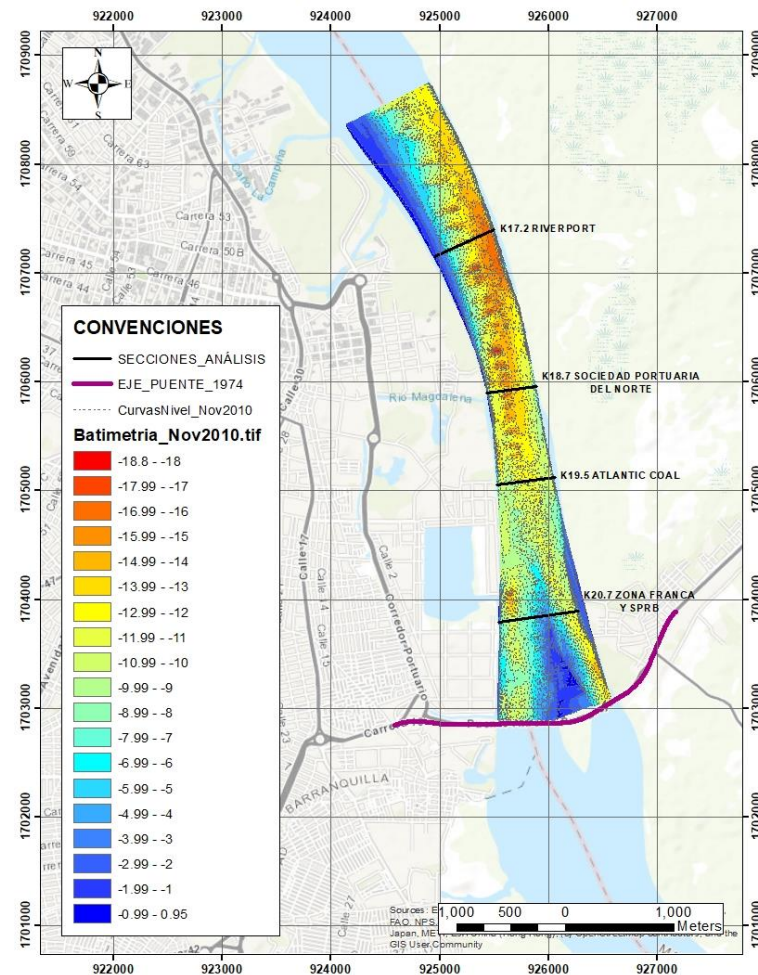


Septiembre 2010

Figura 82. Modelo batimétrico agosto y septiembre 2010 Fuente: Elaboración propia

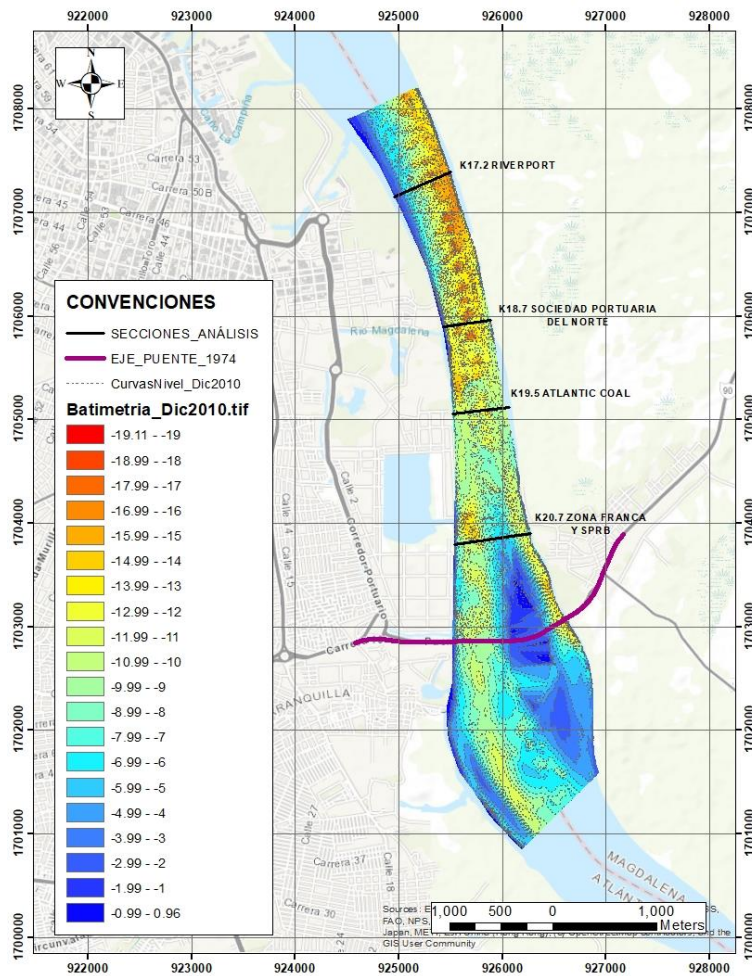


Octubre 2010

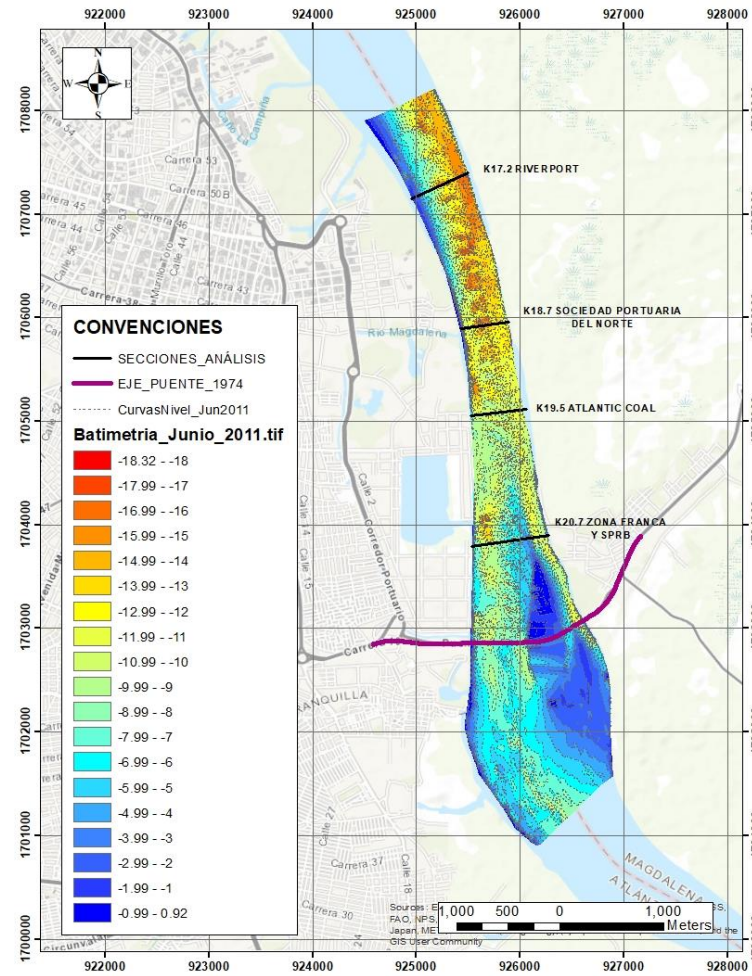


Noviembre 2010

Figura 83. Modelo batimétrico octubre y noviembre 2010 Fuente: Elaboración propia

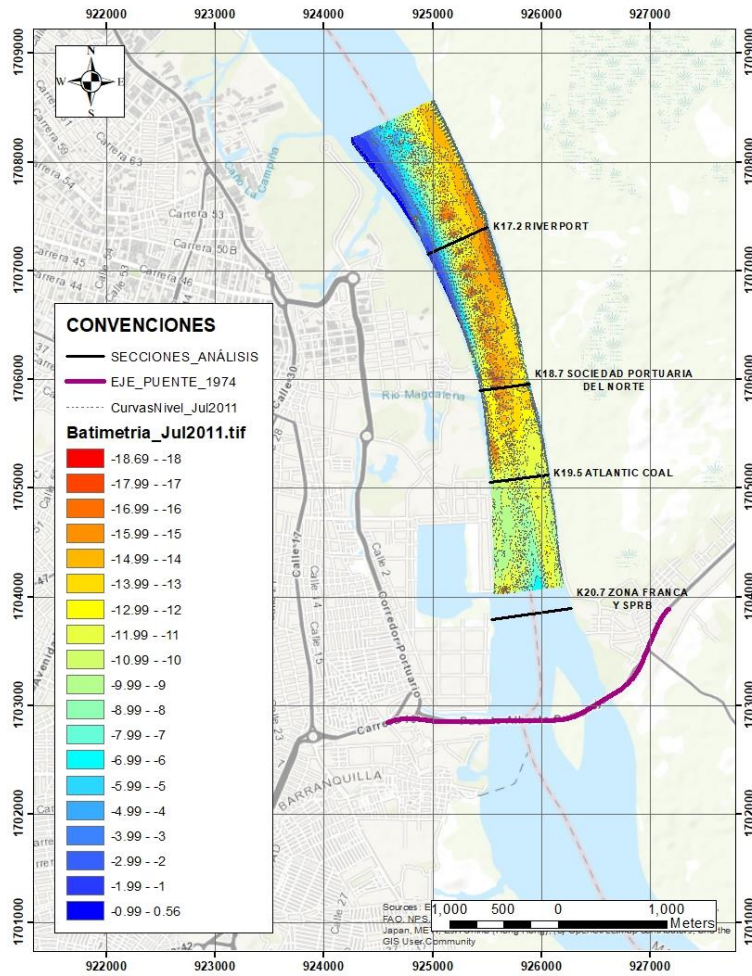


Diciembre 2010

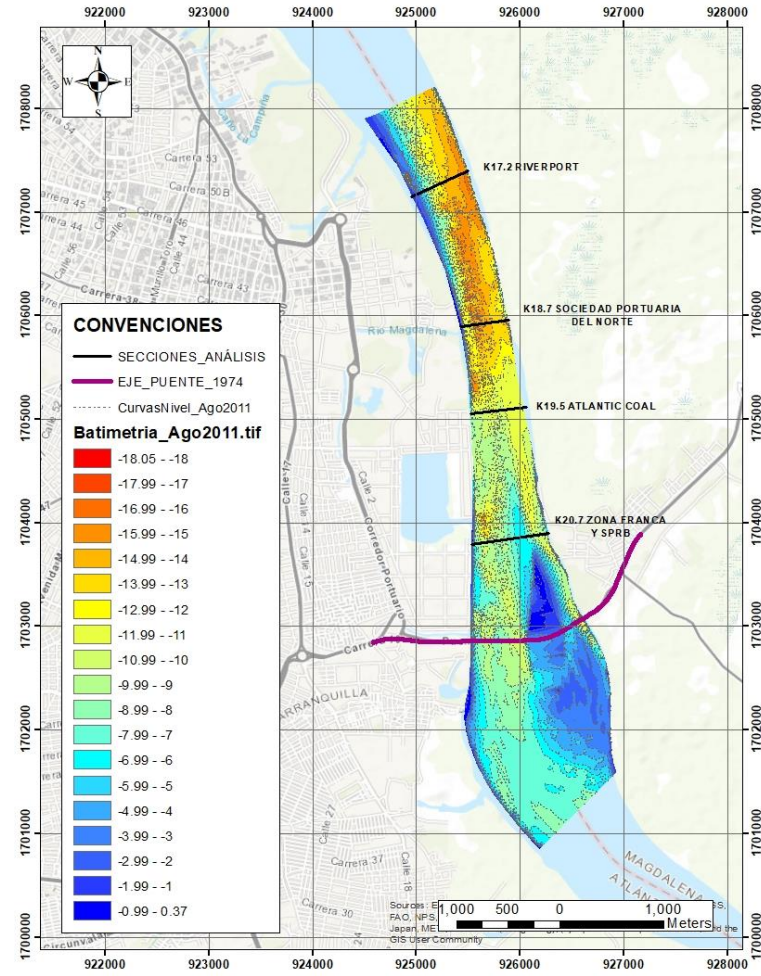


Junio 2011

Figura 84. Modelo batimétrico diciembre 2010 y junio 2011 Fuente: Elaboración propia

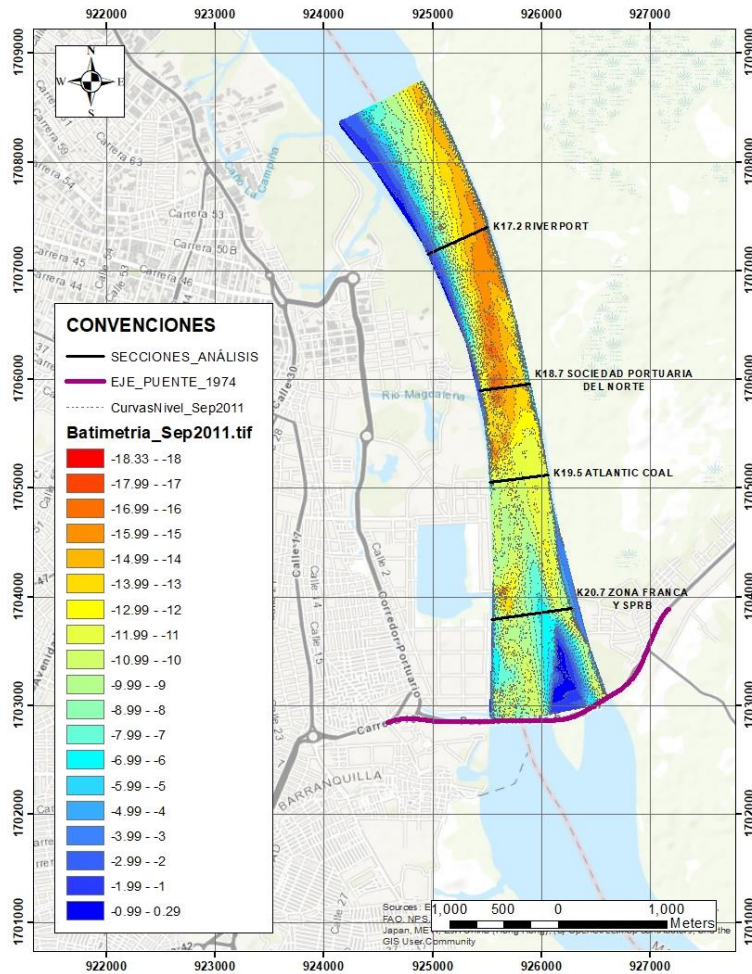


Julio 2011

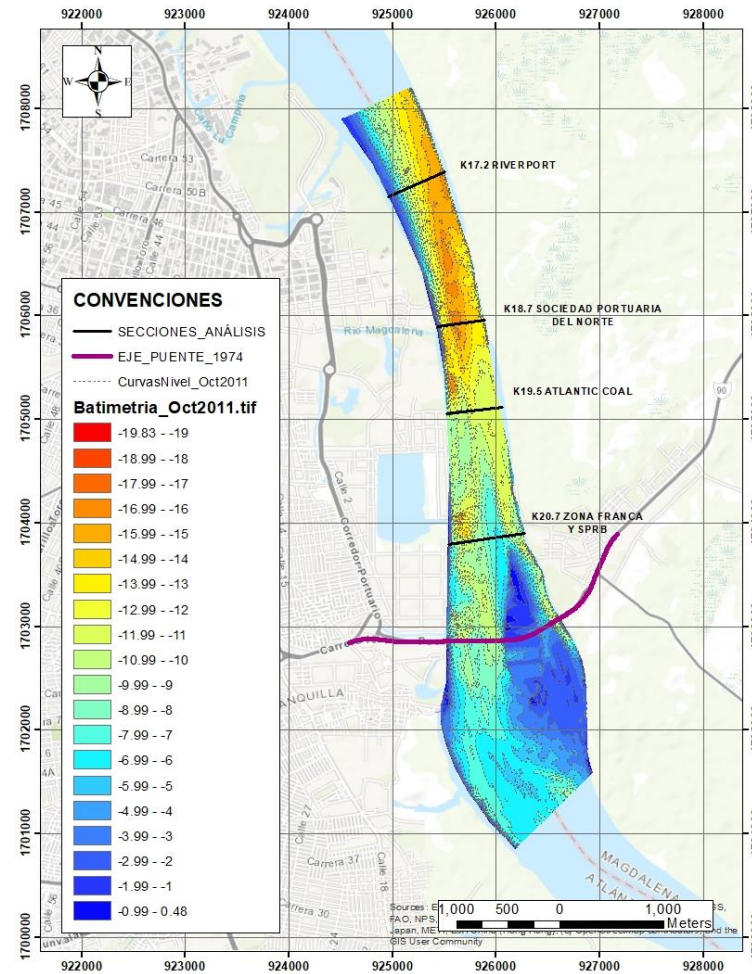


Agosto 2011

Figura 85. Modelo batimétrico julio y agosto 2011 Fuente: Elaboración propia

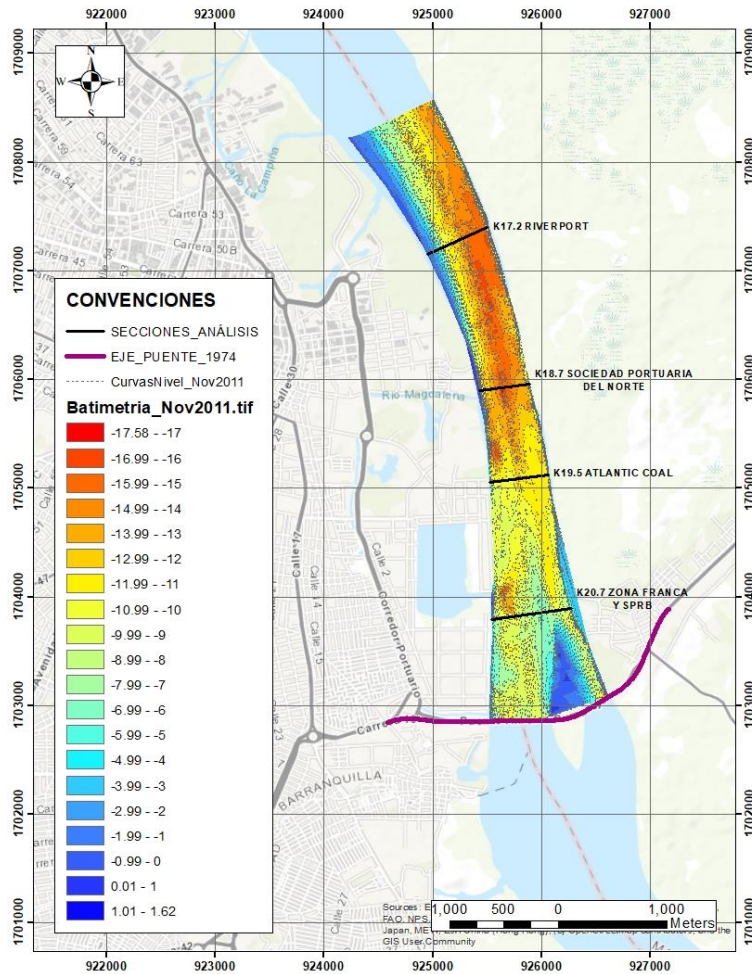


Septiembre 2011

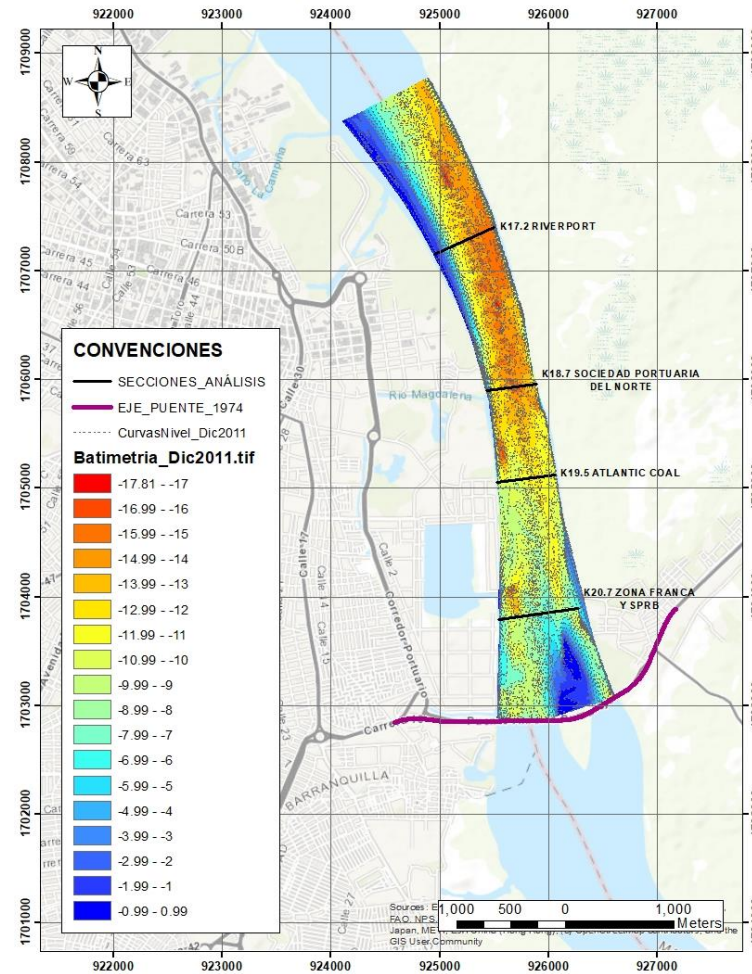


Octubre 2011

Figura 86. Modelo batimétrico septiembre y octubre 2011 Fuente: Elaboración propia

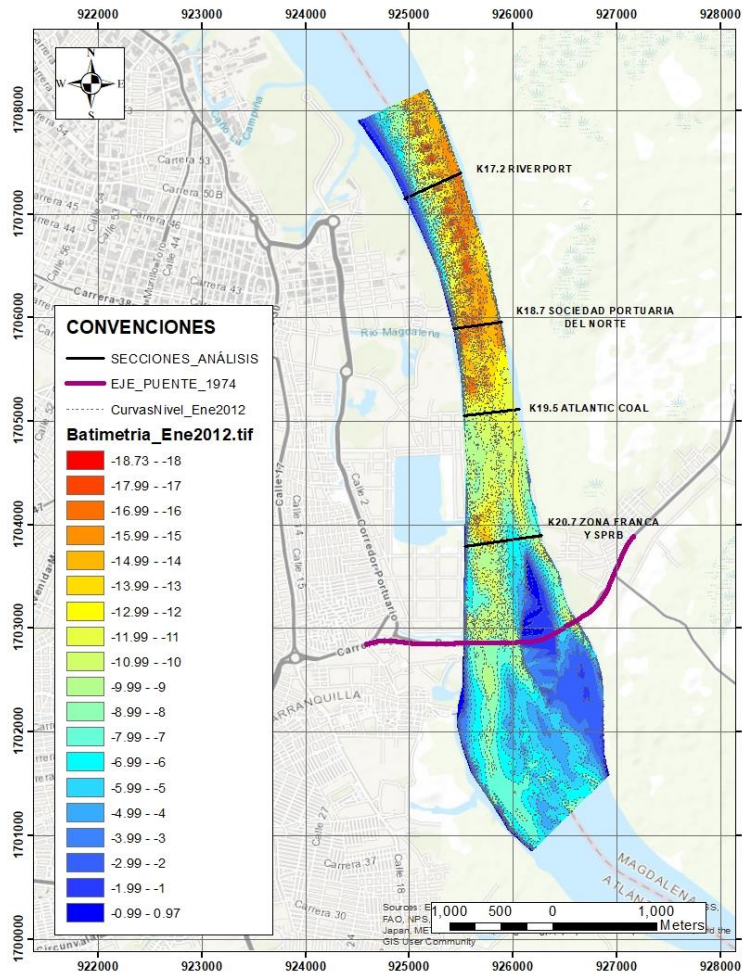


Noviembre 2011

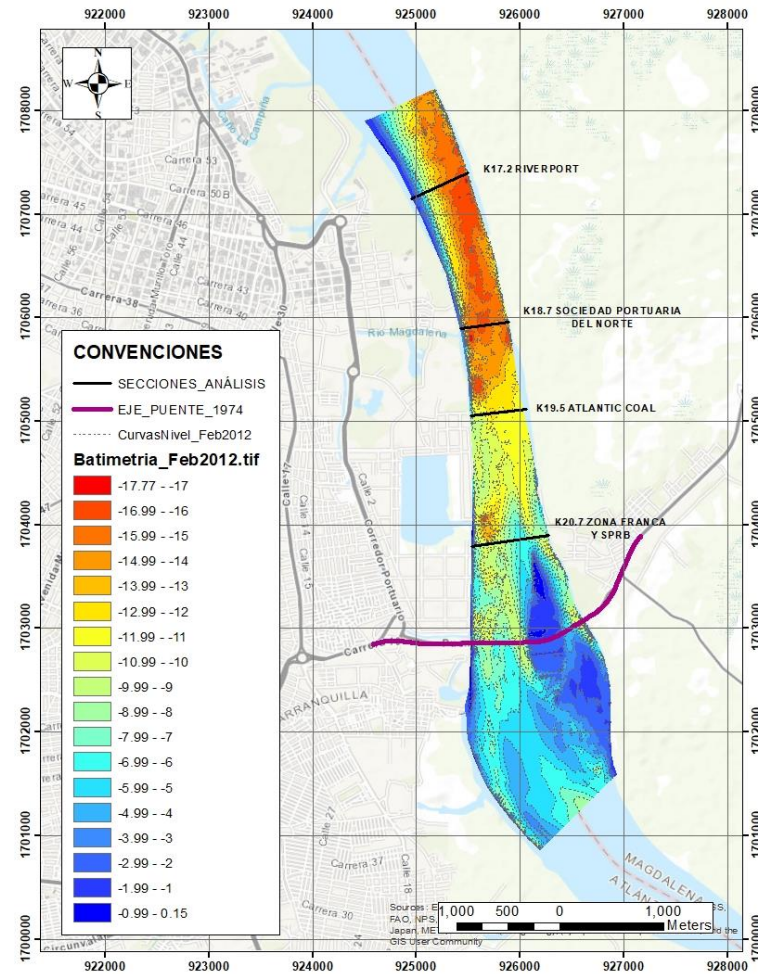


Diciembre 2011

Figura 87. Modelo batimétrico noviembre y diciembre 2011 Fuente: Elaboración propia

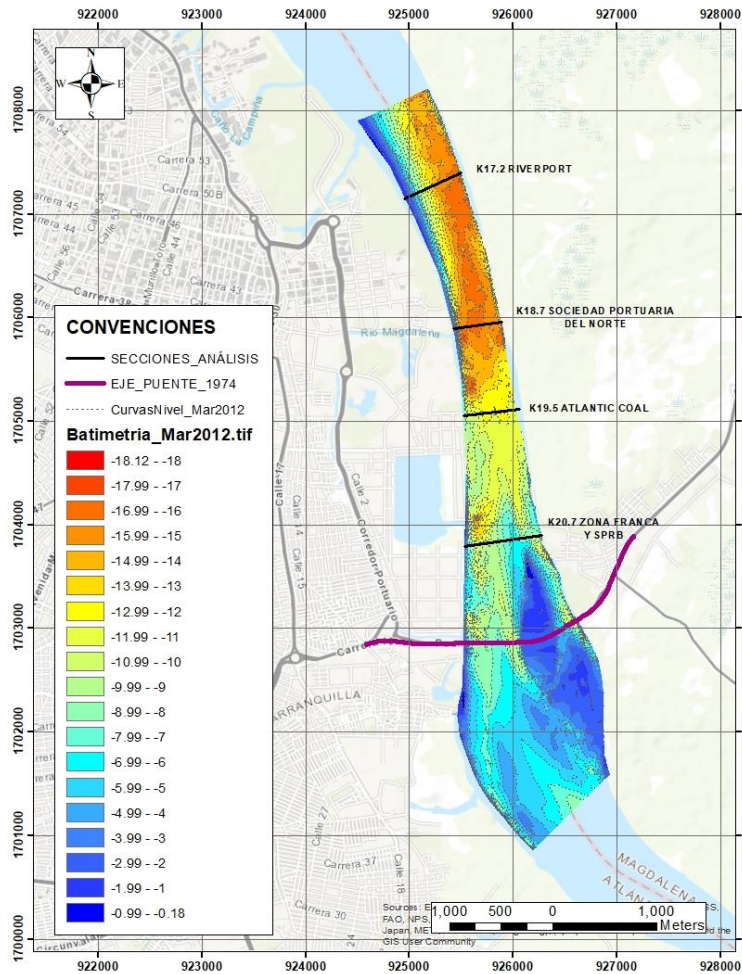


Enero 2012

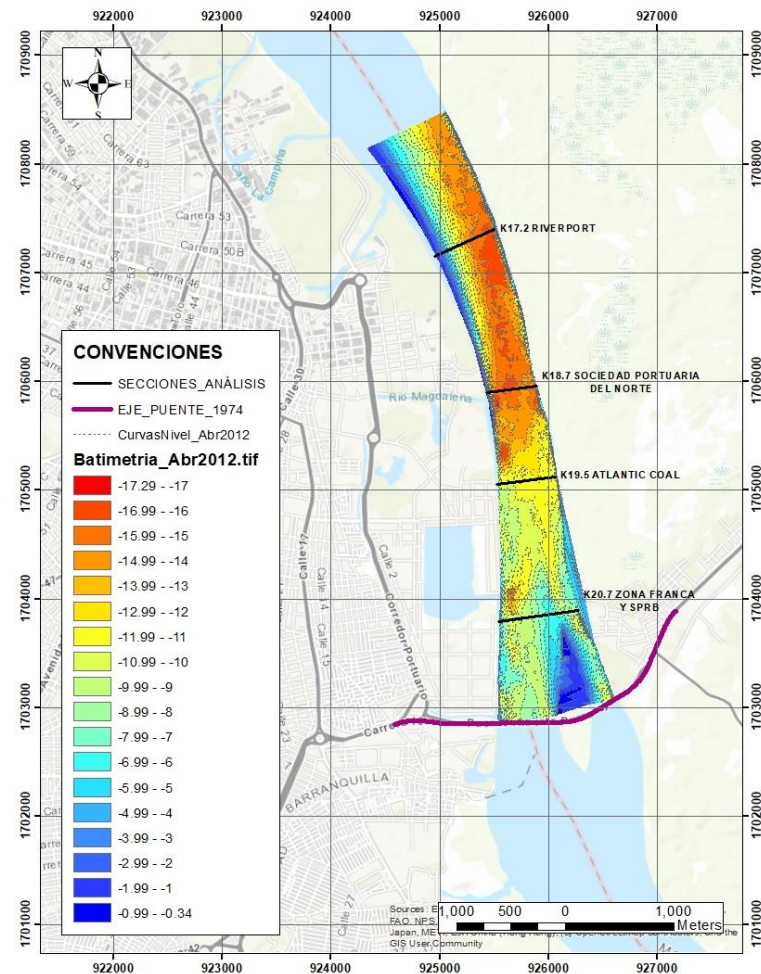


Febrero 2012

Figura 88. Modelo batimétrico enero y febrero 2012 Fuente: Elaboración propia

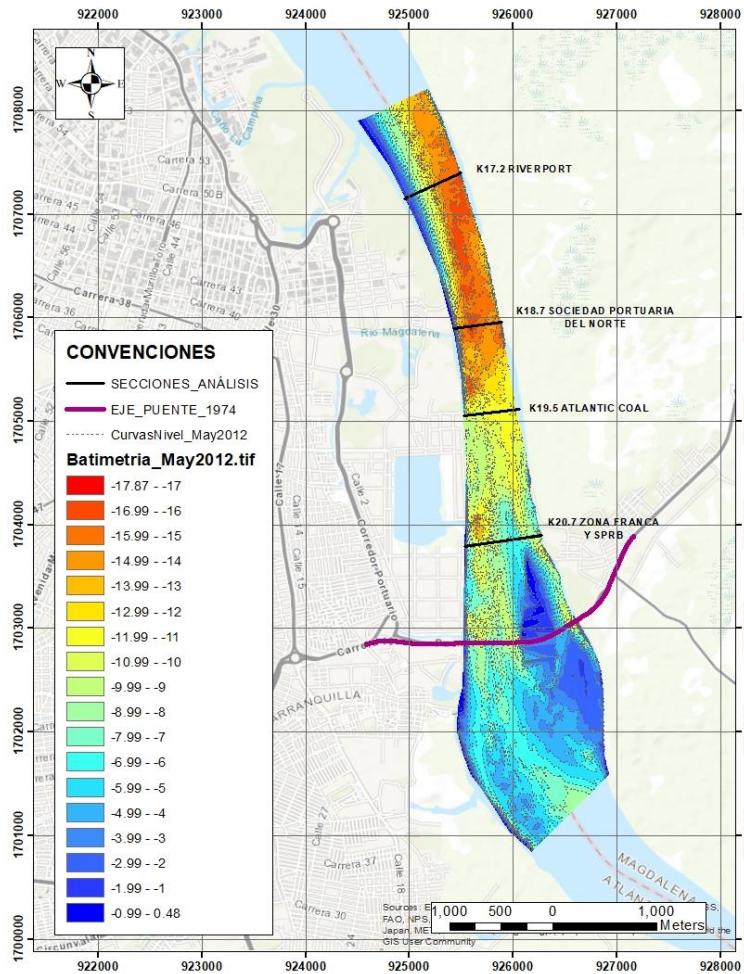


Marzo 2012

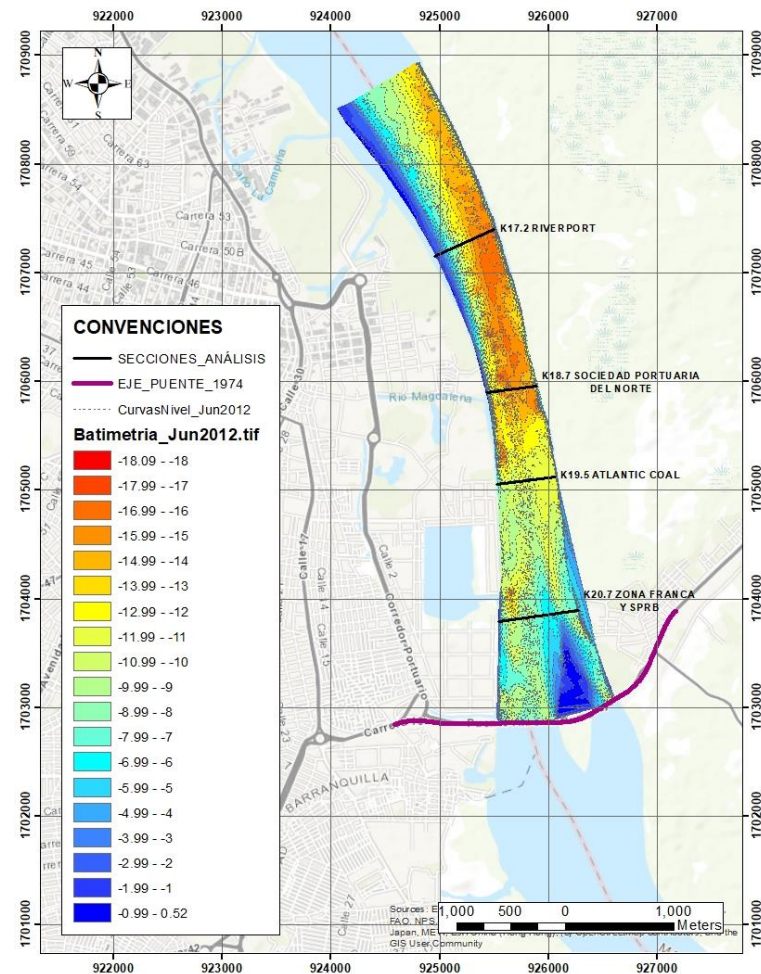


Abril 2012

Figura 89. Modelo batimétrico marzo y abril de 2012 Fuente: Elaboración propia

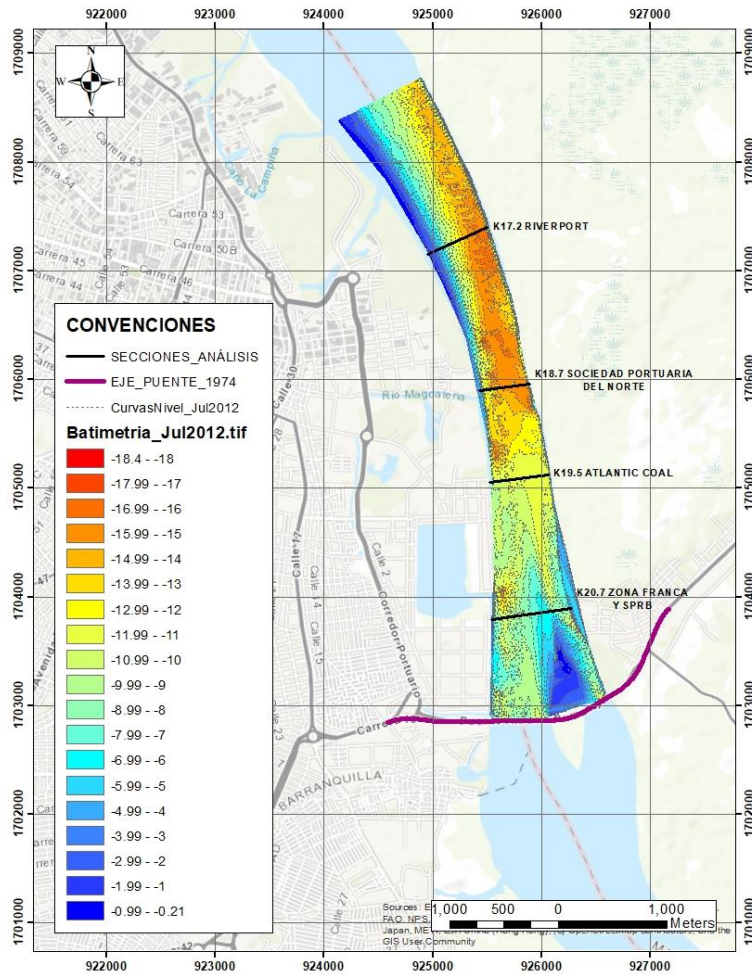


Mayo 2012

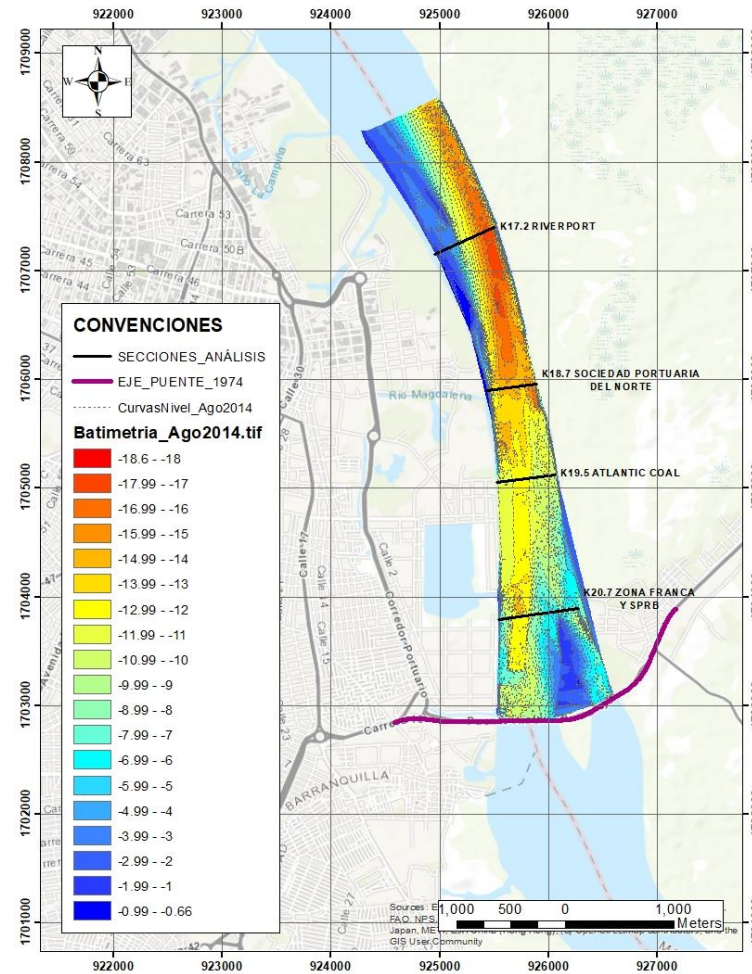


Junio 2012

Figura 90. Modelo batimétrico mayo y junio 2012 Fuente: Elaboración propia

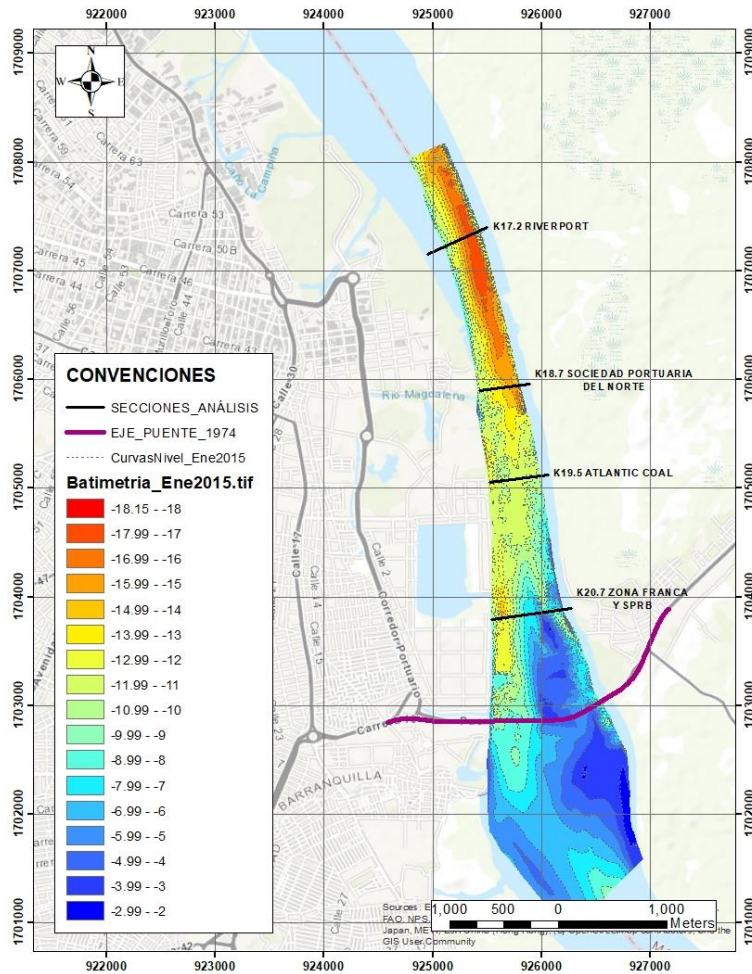


Julio 2012

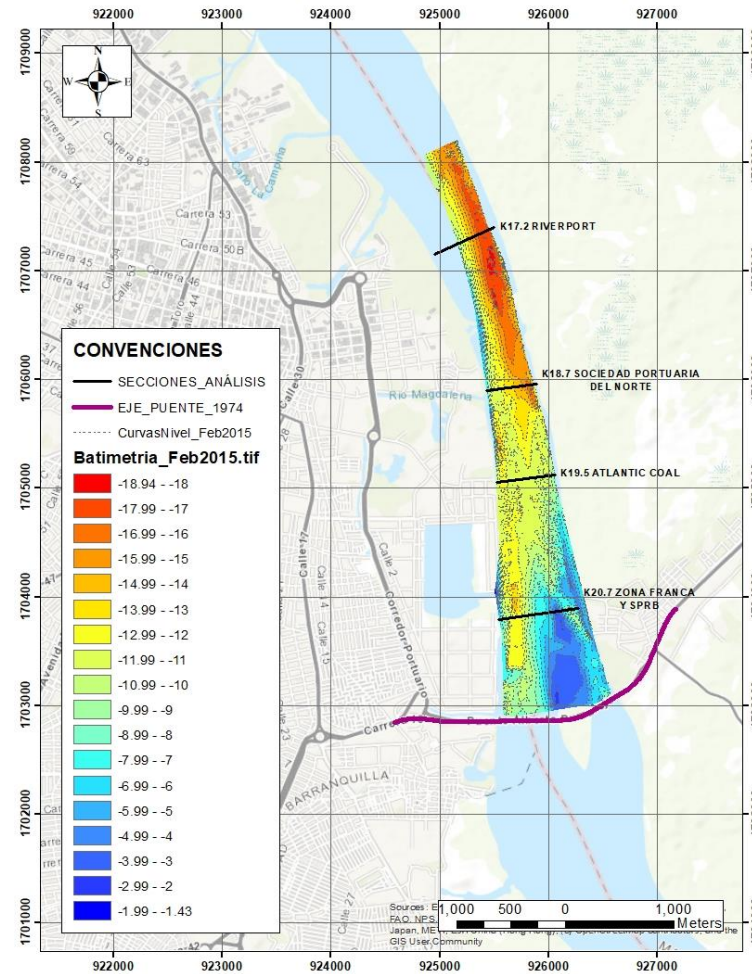


Agosto 2014

Figura 91. Modelo batimétrico julio 2012 y agosto 2014 Fuente: Elaboración propia

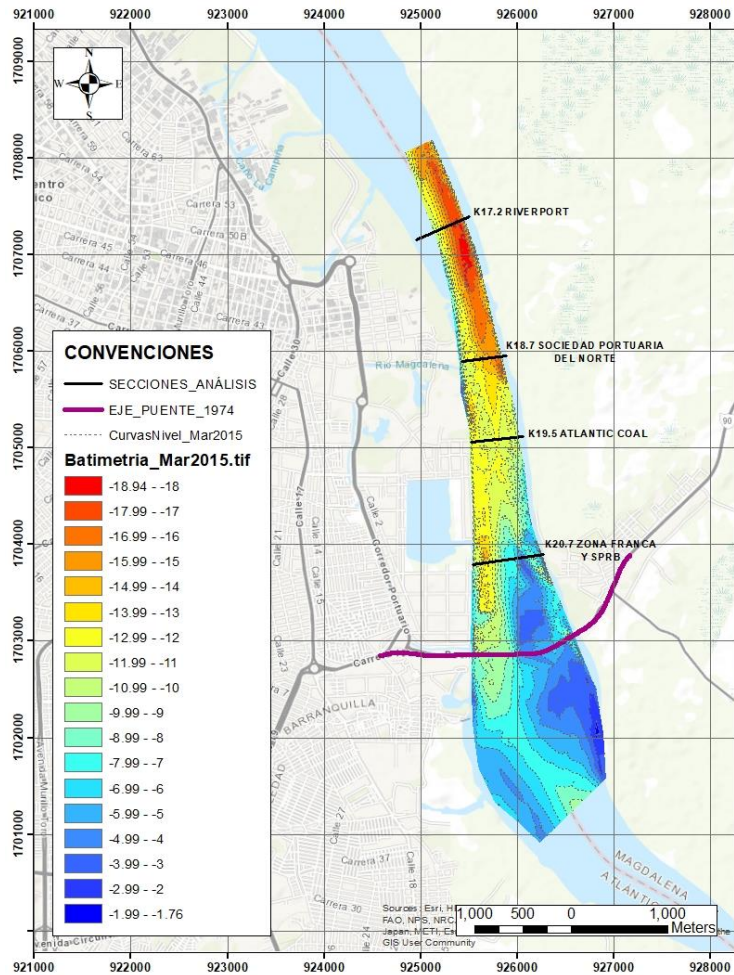


Enero 2015

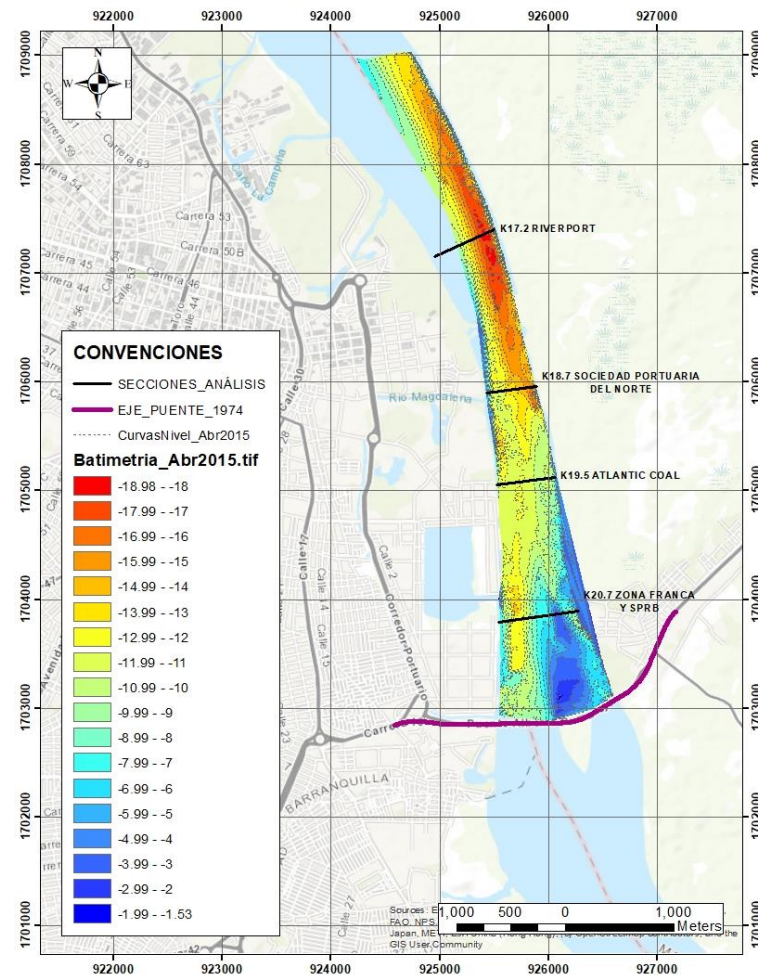


Febrero 2015

Figura 92. Modelo batimétrico enero y febrero 2015 Fuente: Elaboración propia

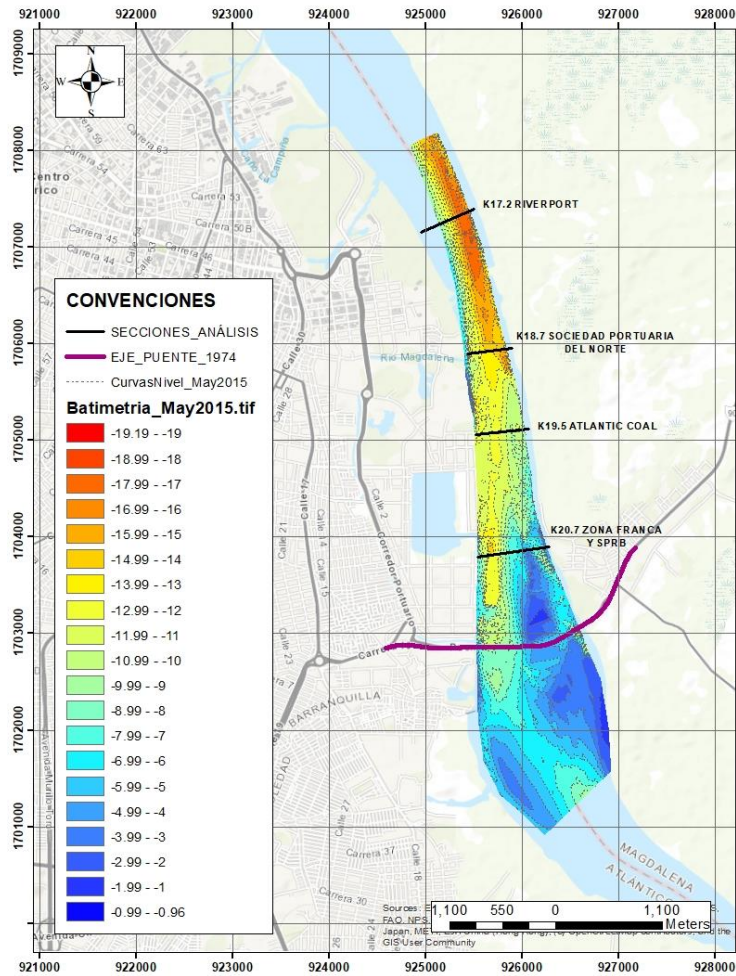


Marzo 2015

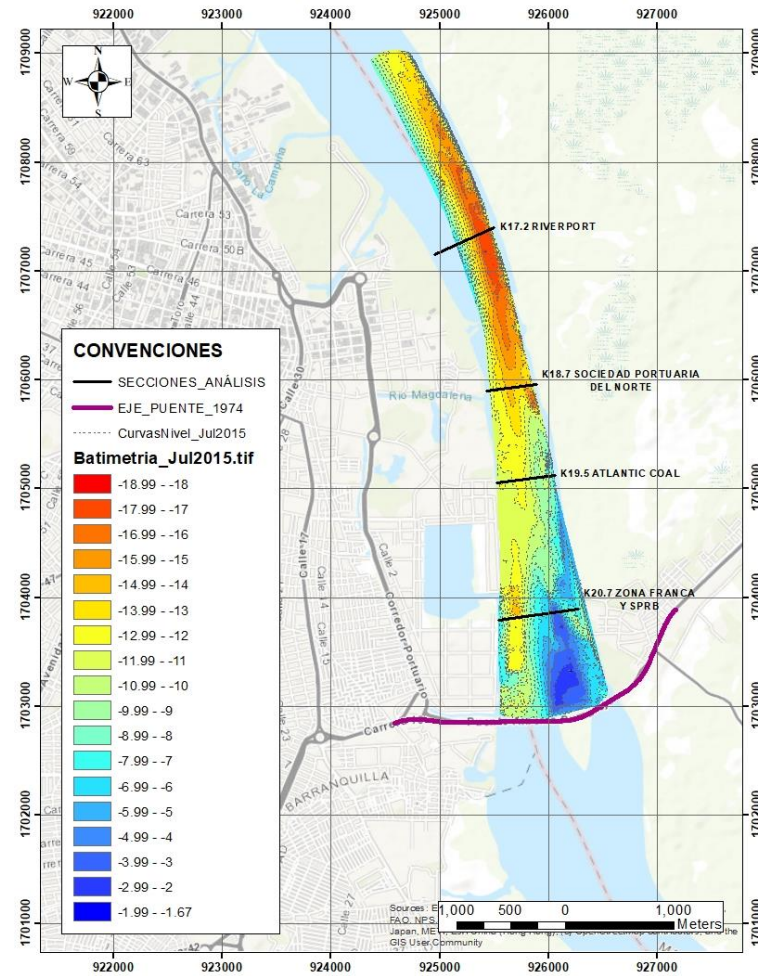


Abril 2015

Figura 93. Modelo batimétrico marzo y abril 2015 Fuente: Elaboración propia

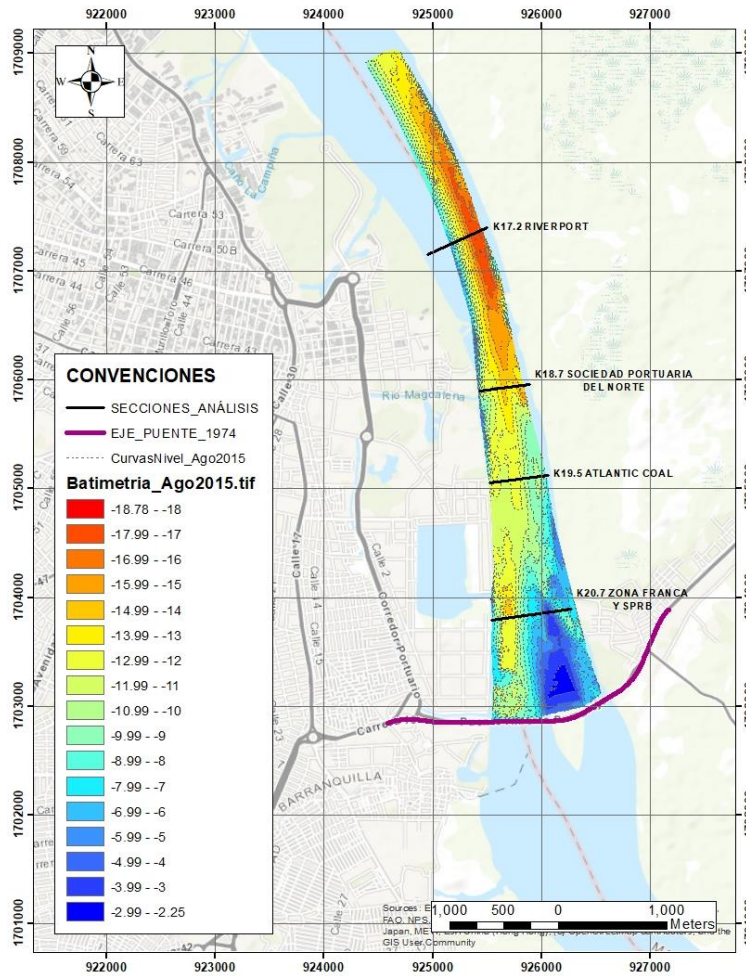


Mayo 2015

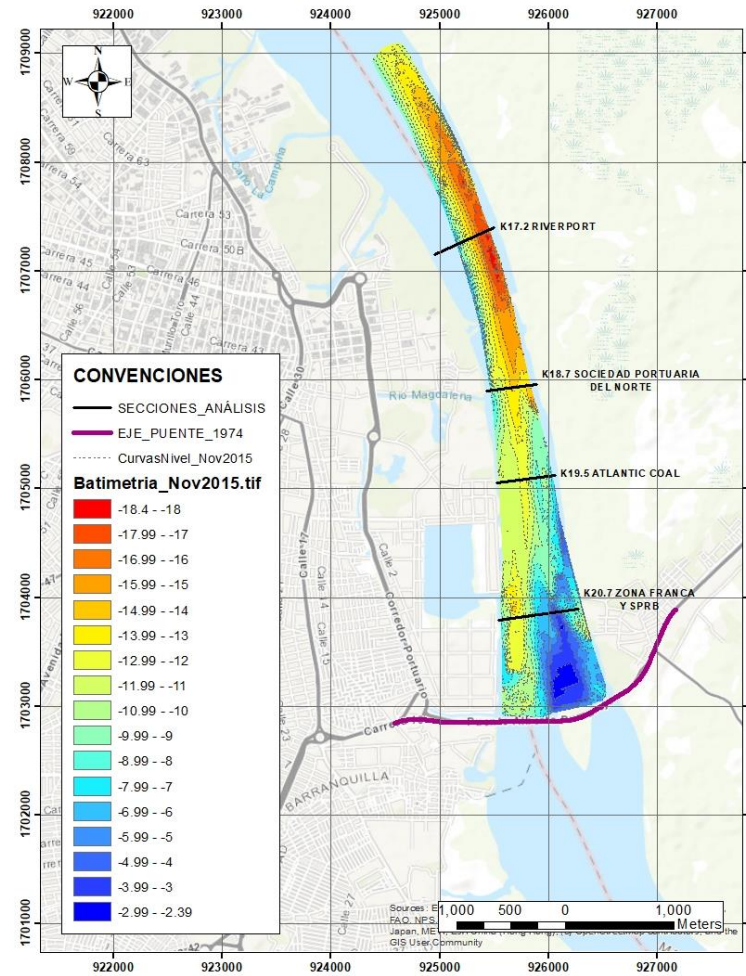


Julio 2015

Figura 94. Modelo batimétrico mayo y julio 2015 Fuente: Elaboración propia

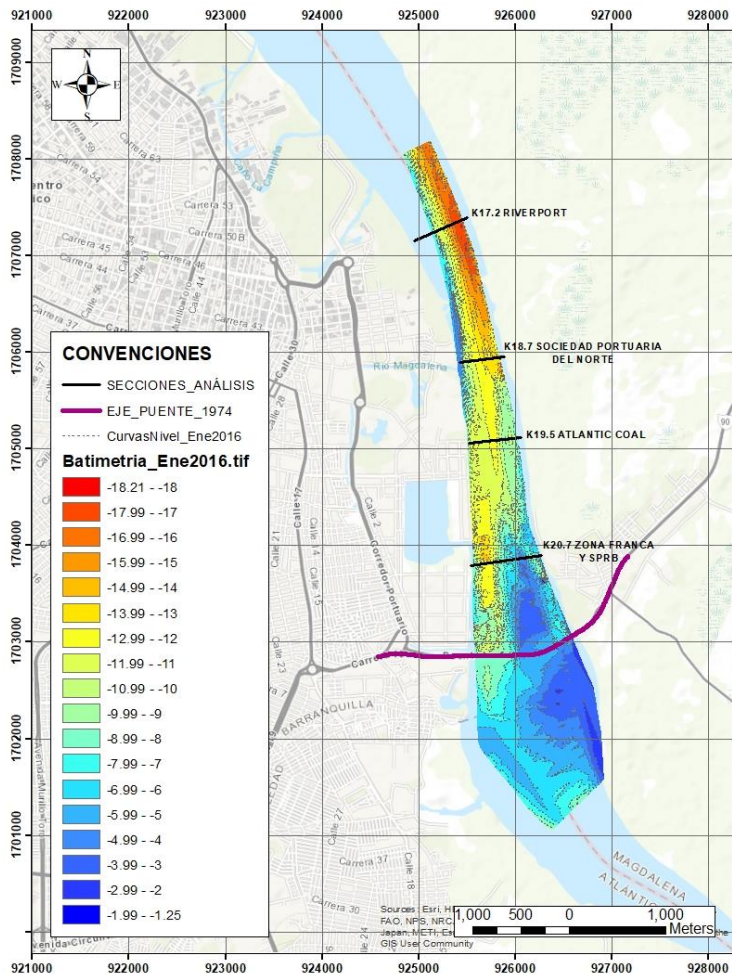


Agosto 2015

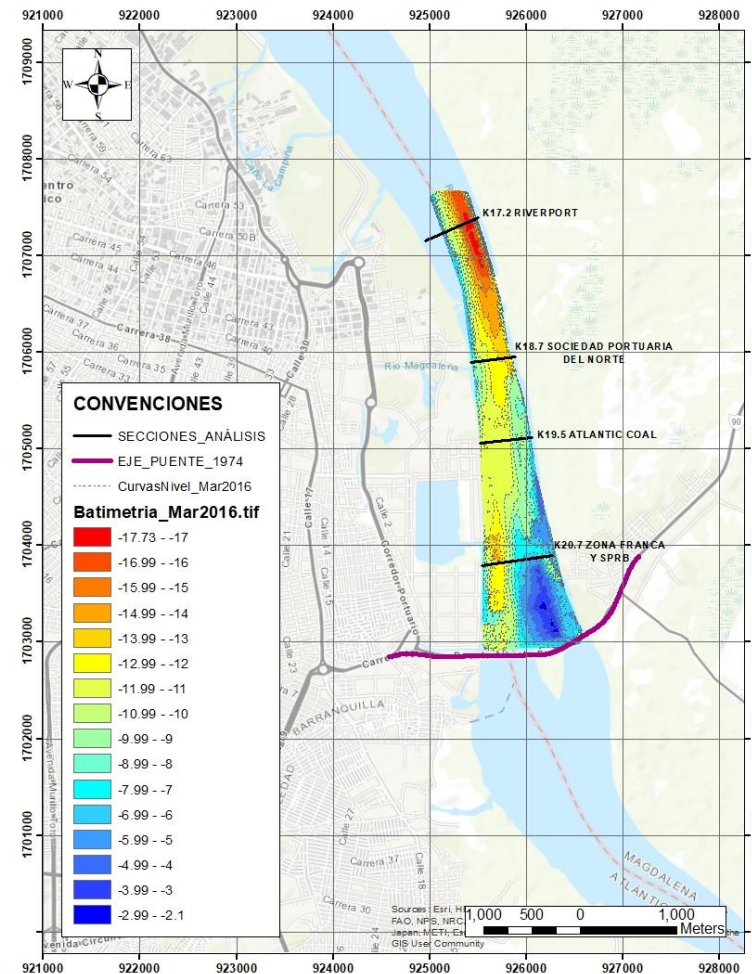


Noviembre 2015

Figura 95. Modelo batimétrico agosto y noviembre 2015 Fuente: Elaboración propia

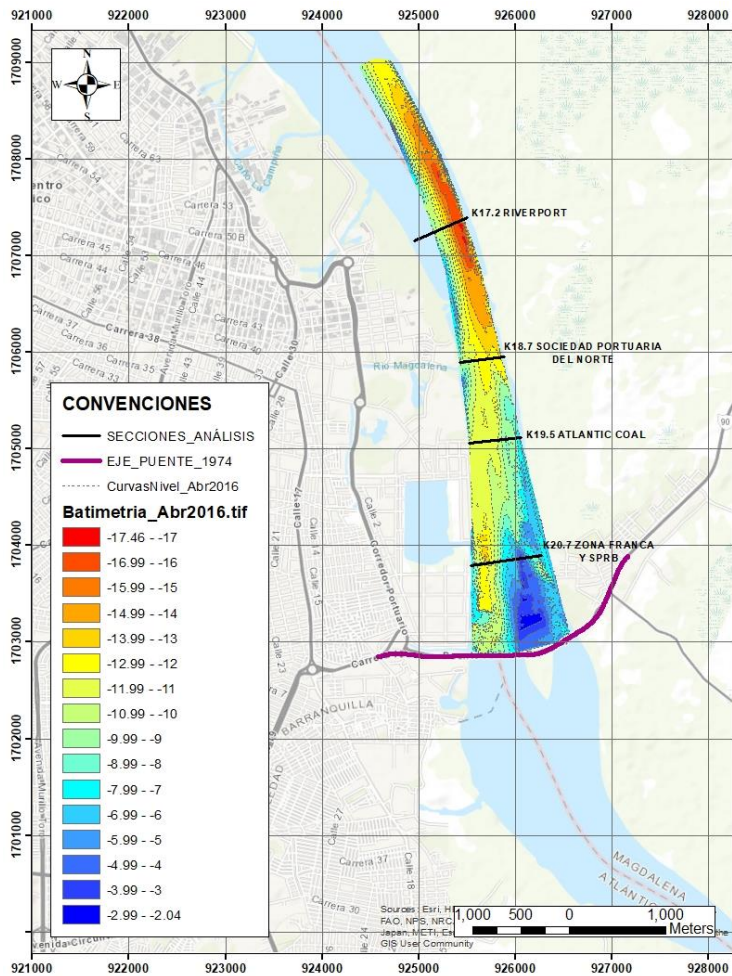


Enero 2016

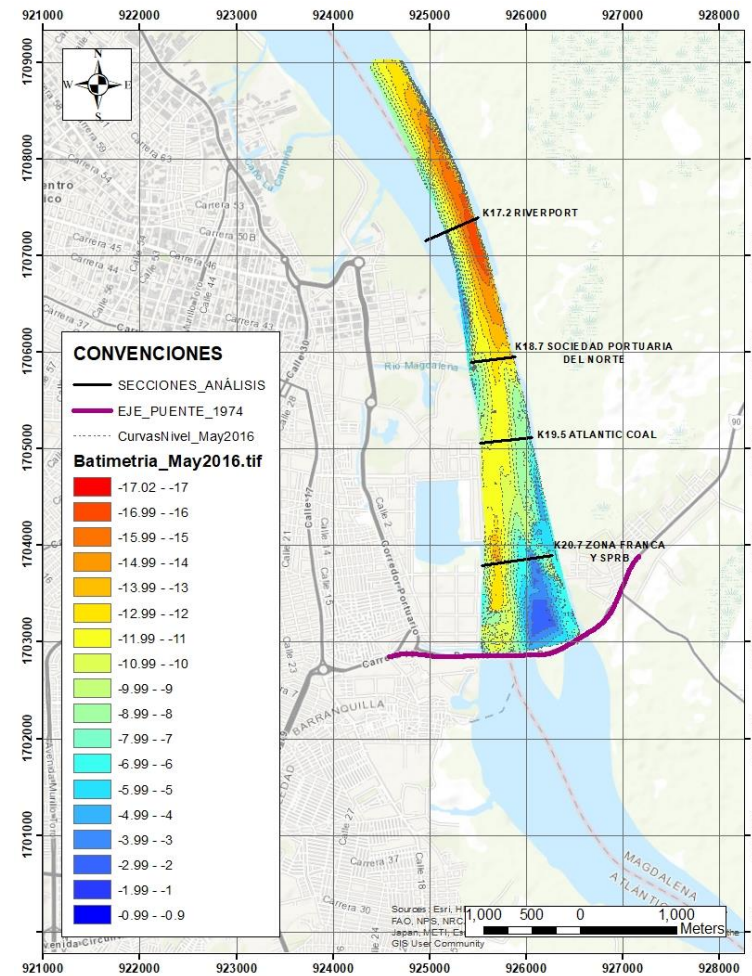


Marzo 2016

Figura 96. Modelo batimétrico enero y marzo 2016 Fuente: Elaboración propia

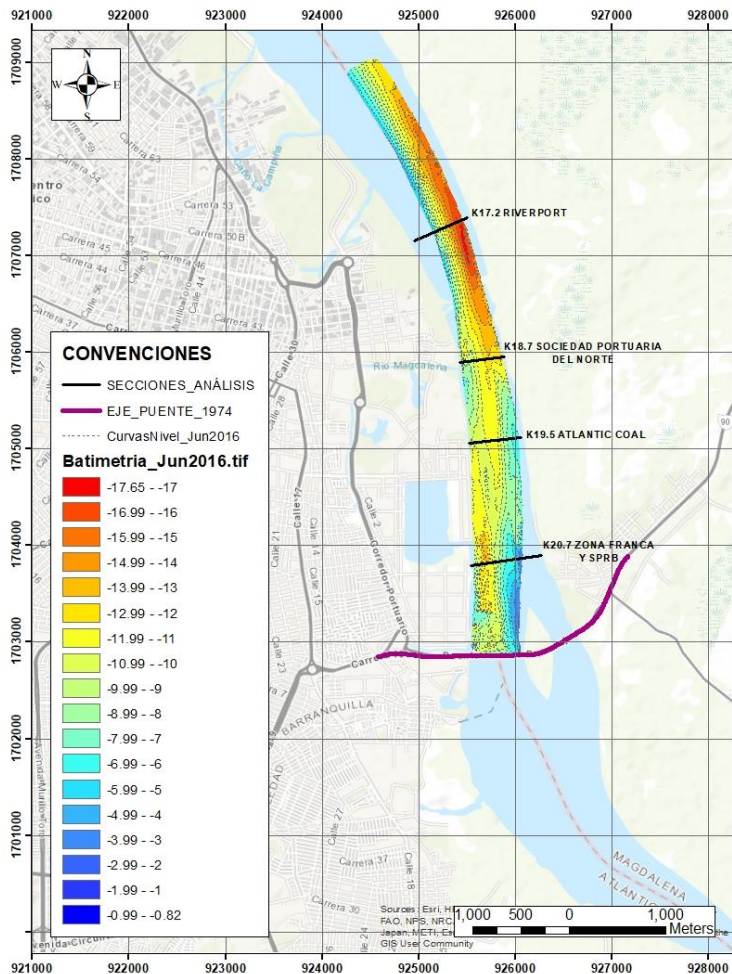


Abril2016

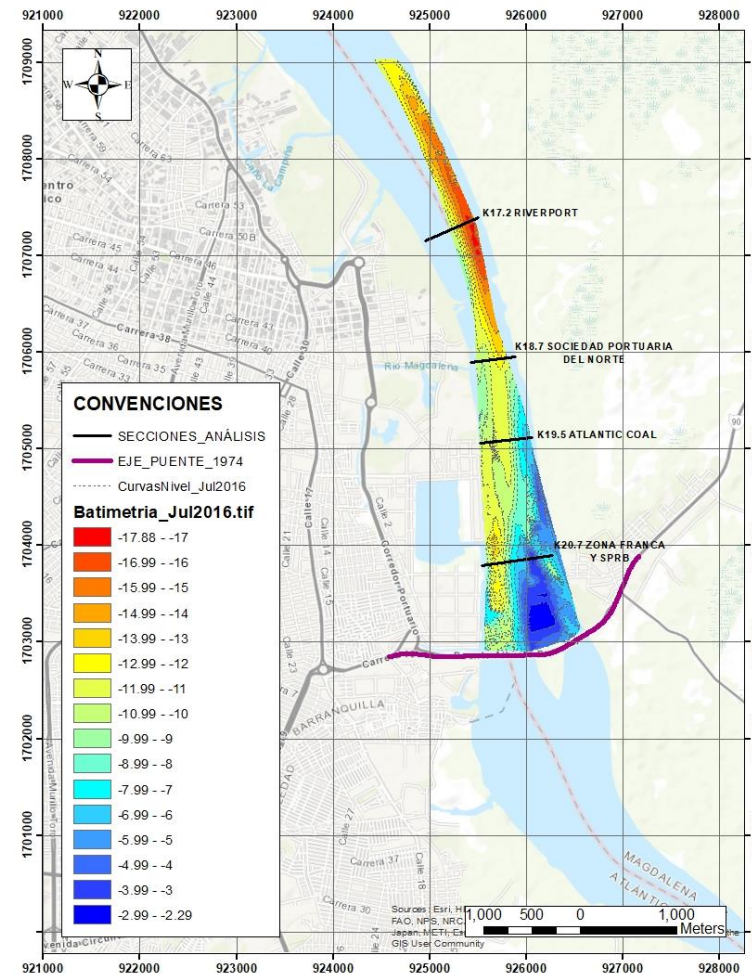


Mayo 2016

Figura 97. Modelo batimétrico abril y mayo 2016 Fuente: Elaboración propia

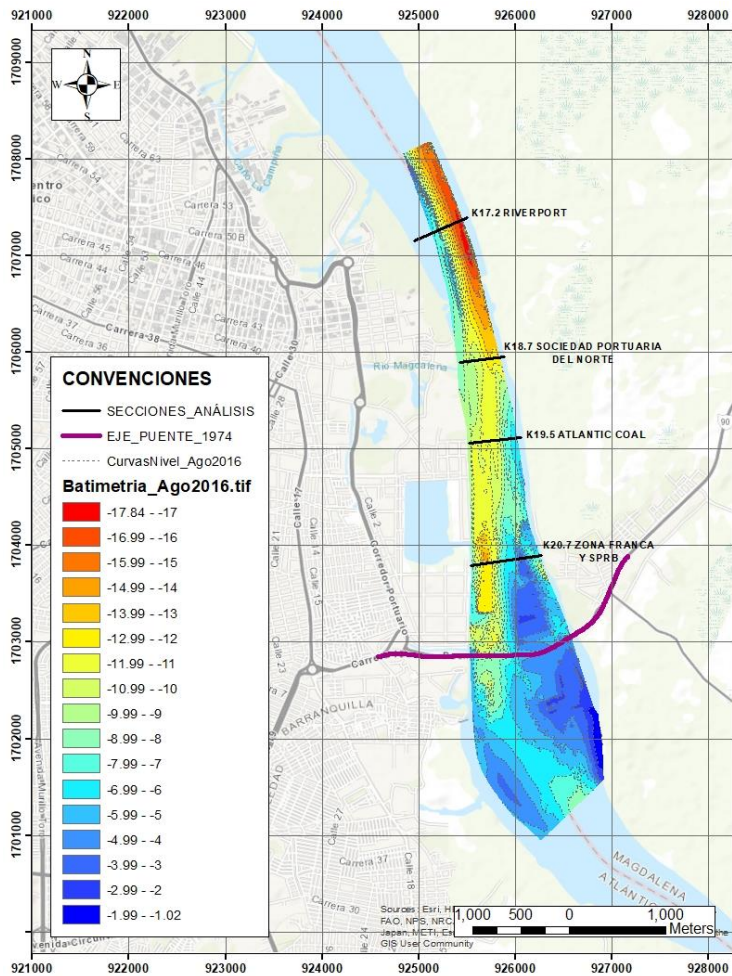


Junio 2016

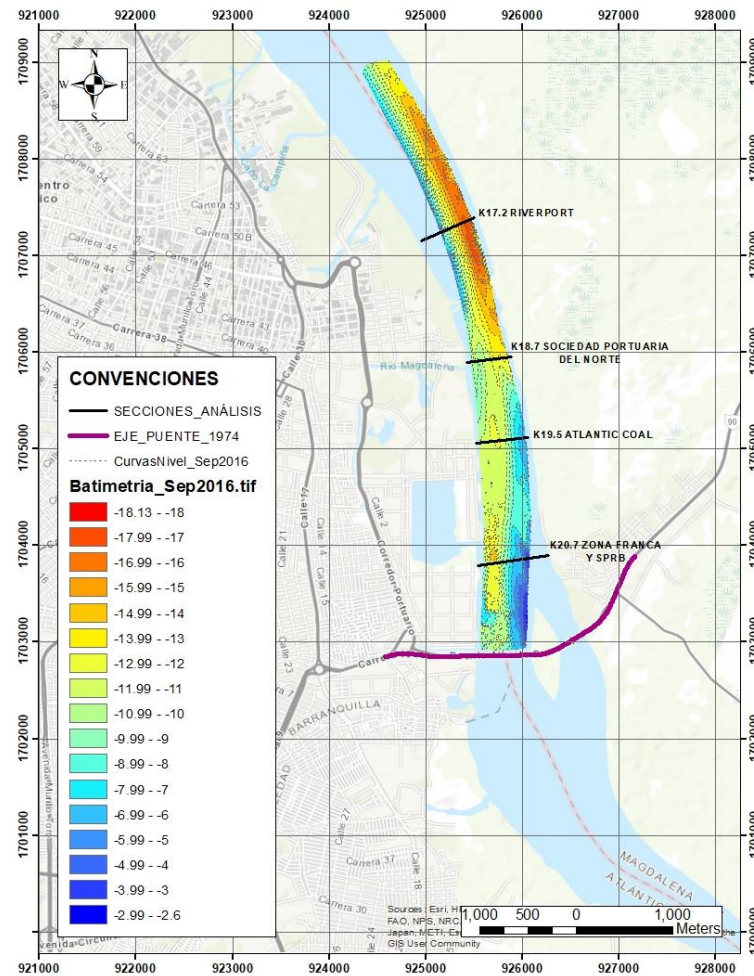


Julio 2016

Figura 98. Modelo batimétrico junio y julio 2016 Fuente: Elaboración propia

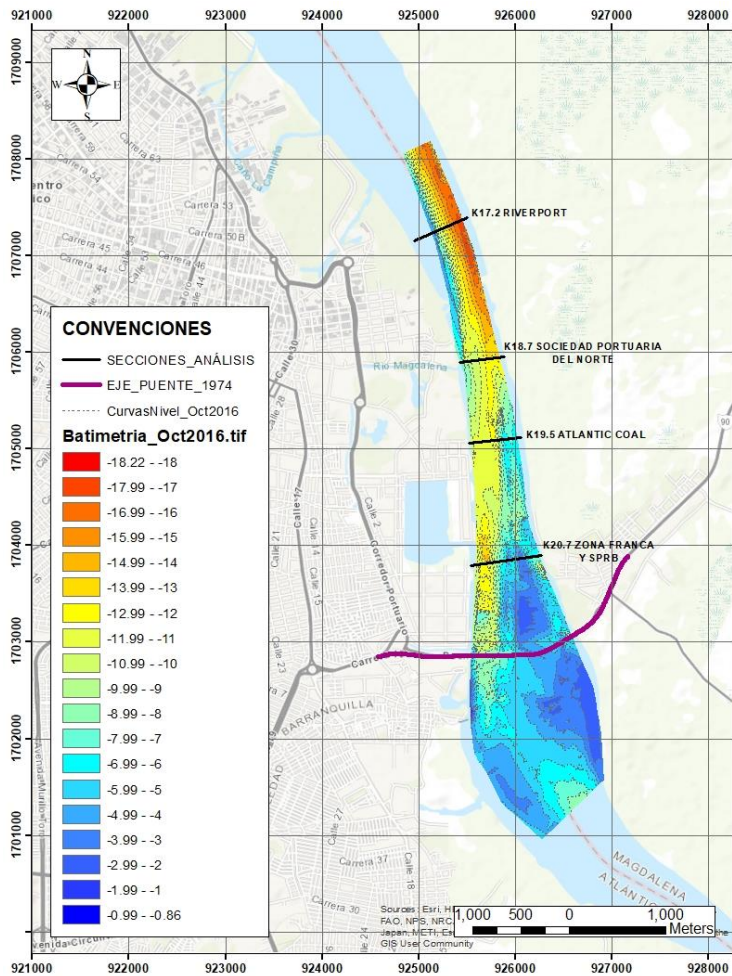


Agosto 2016

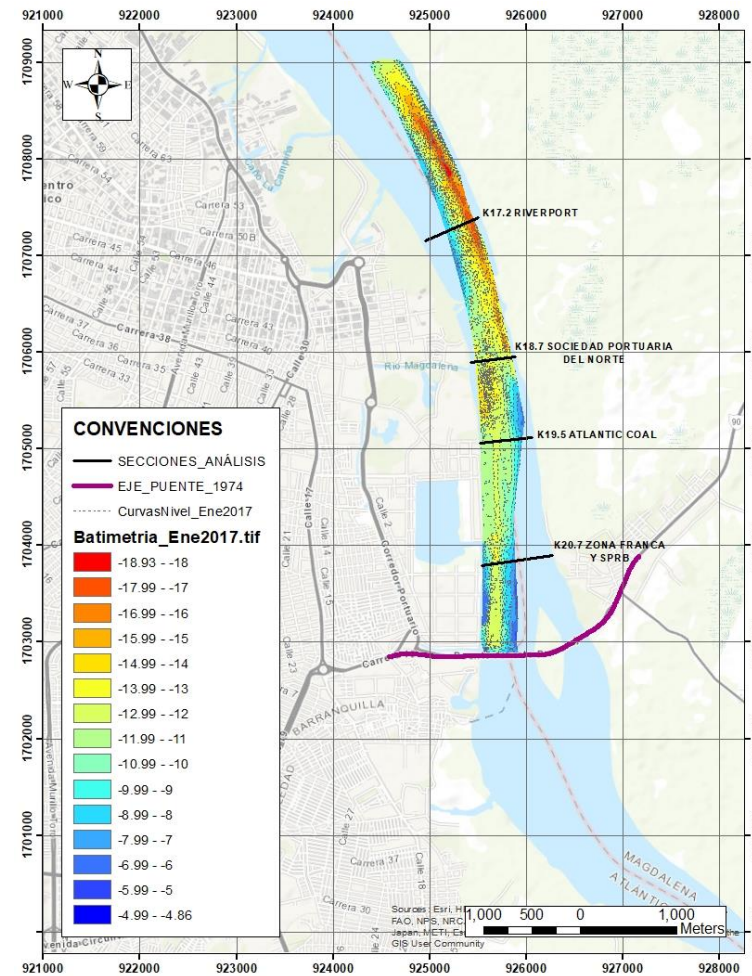


Septiembre 2016

Figura 99. Modelo batimétrico agosto y septiembre 2016 Fuente: Elaboración propia

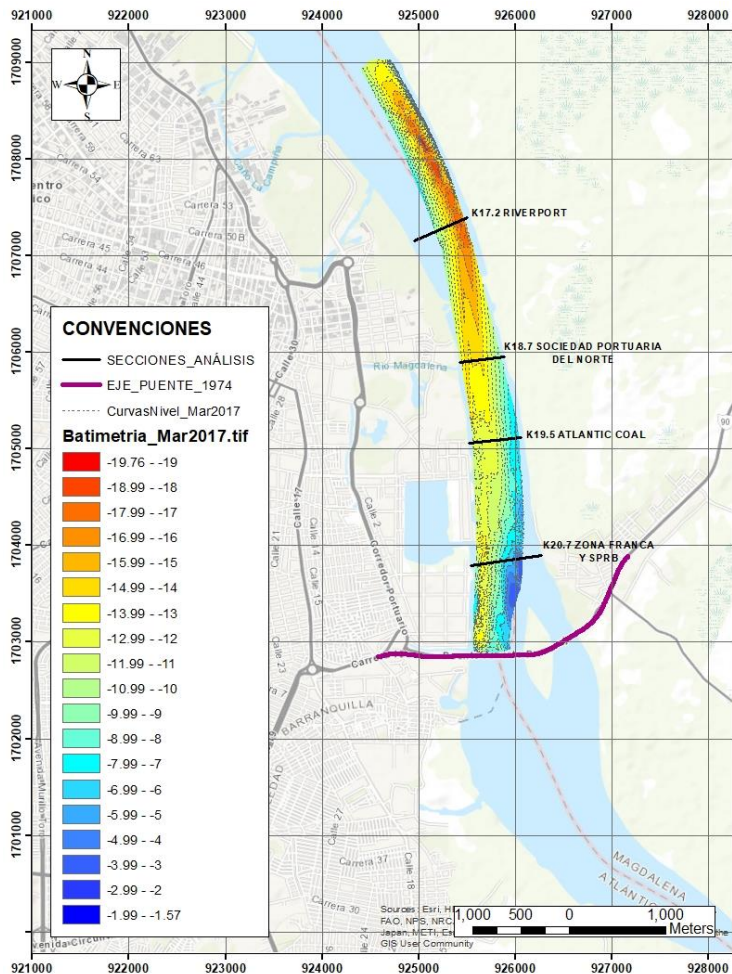


Octubre 2016

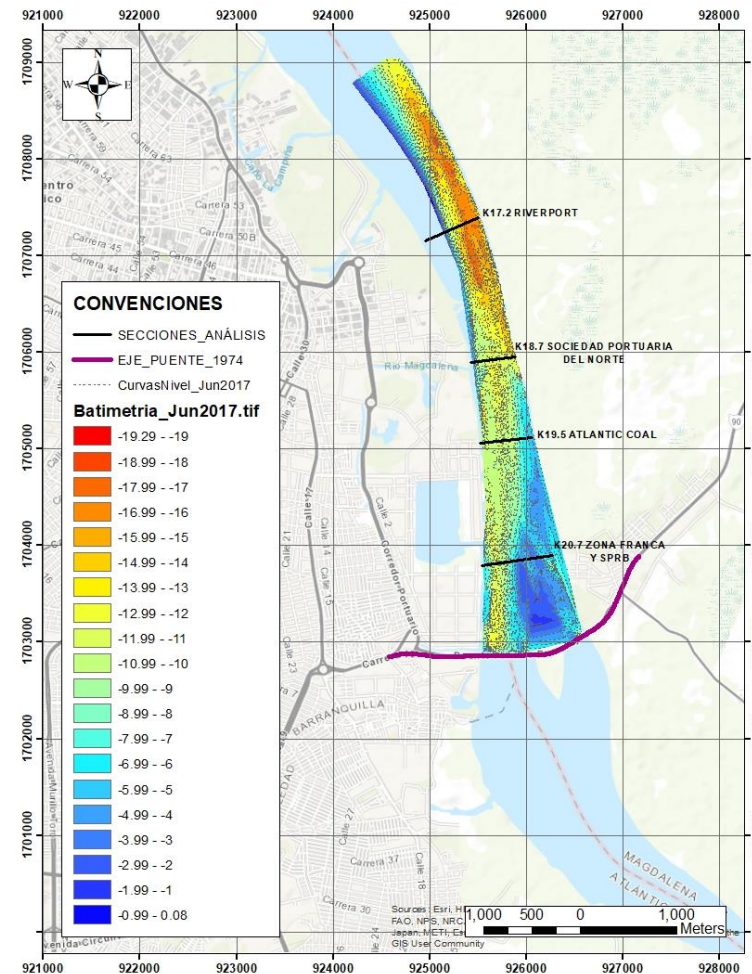


Enero 2017

Figura 100. Modelo batimétrico octubre 2016 y enero 2017 Fuente: Elaboración propia



Marzo 2017



Junio 2017

Figura 101. Modelo batimétrico marzo y junio 2017 Fuente: Elaboración propia

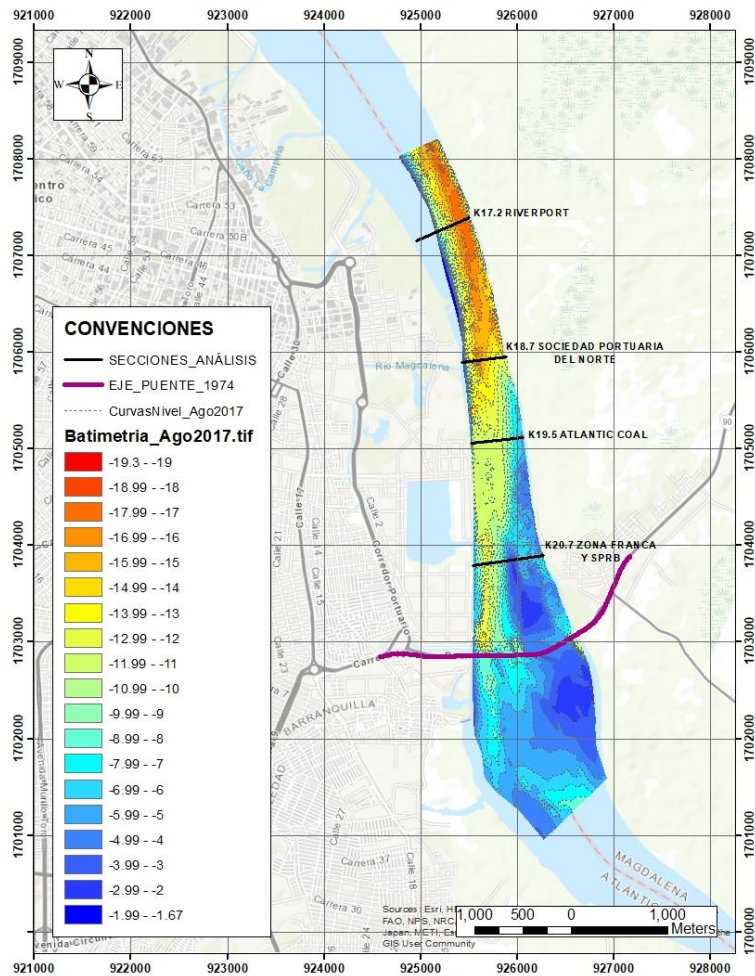


Figura 102. Modelo batimétrico agosto 2017 Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, sobre las secciones de análisis, se define en cada una un punto en específico, sobre el cual se analiza de manera multi temporal la cota de fondo del cauce. Estos puntos corresponden a los sectores de movilización e ingreso de los buques a cada uno de los puertos mencionados previamente. La ubicación de los puntos seleccionados se presenta en la Figura 103, mientras que los resultados del análisis se presentan en la Figura 104 a la Figura 107.

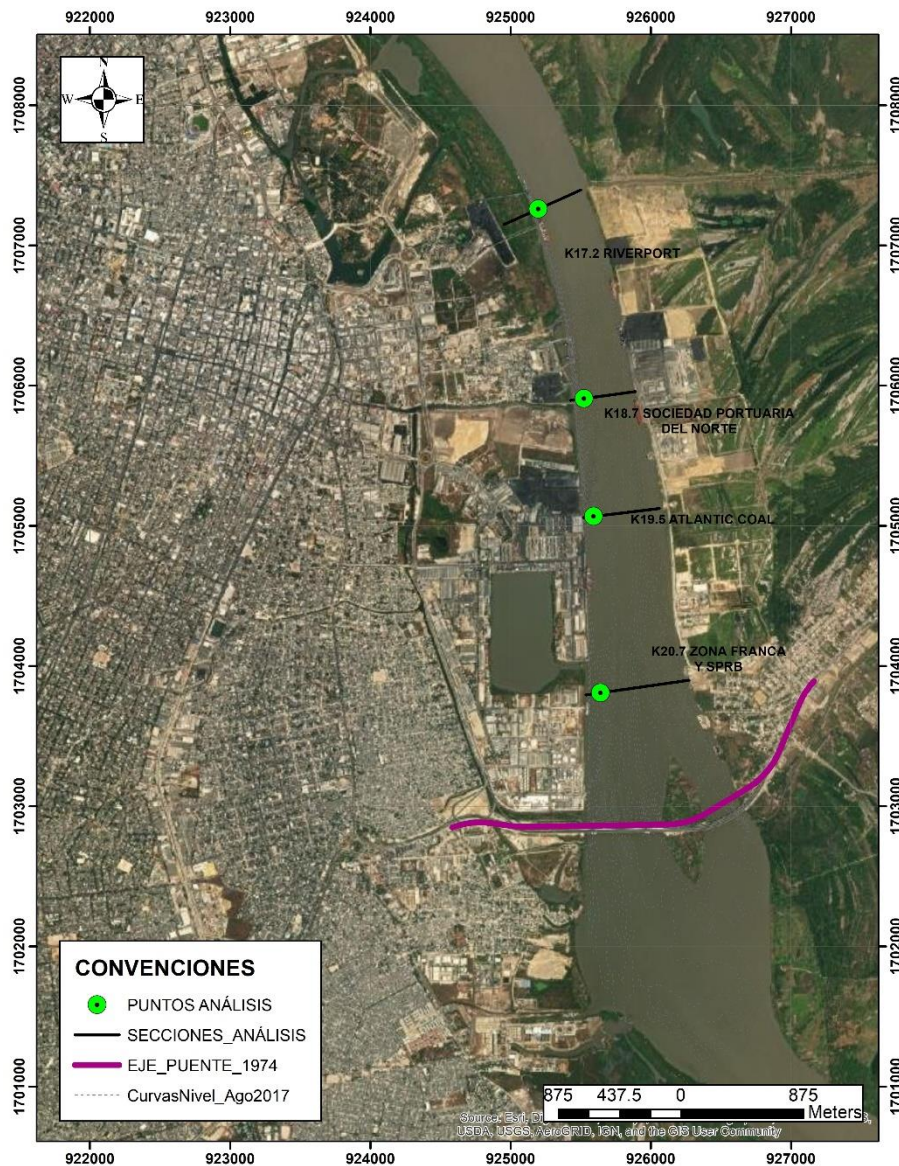


Figura 103. Puntos de análisis multitemporal de cota de fondo Fuente: Elaboración propia

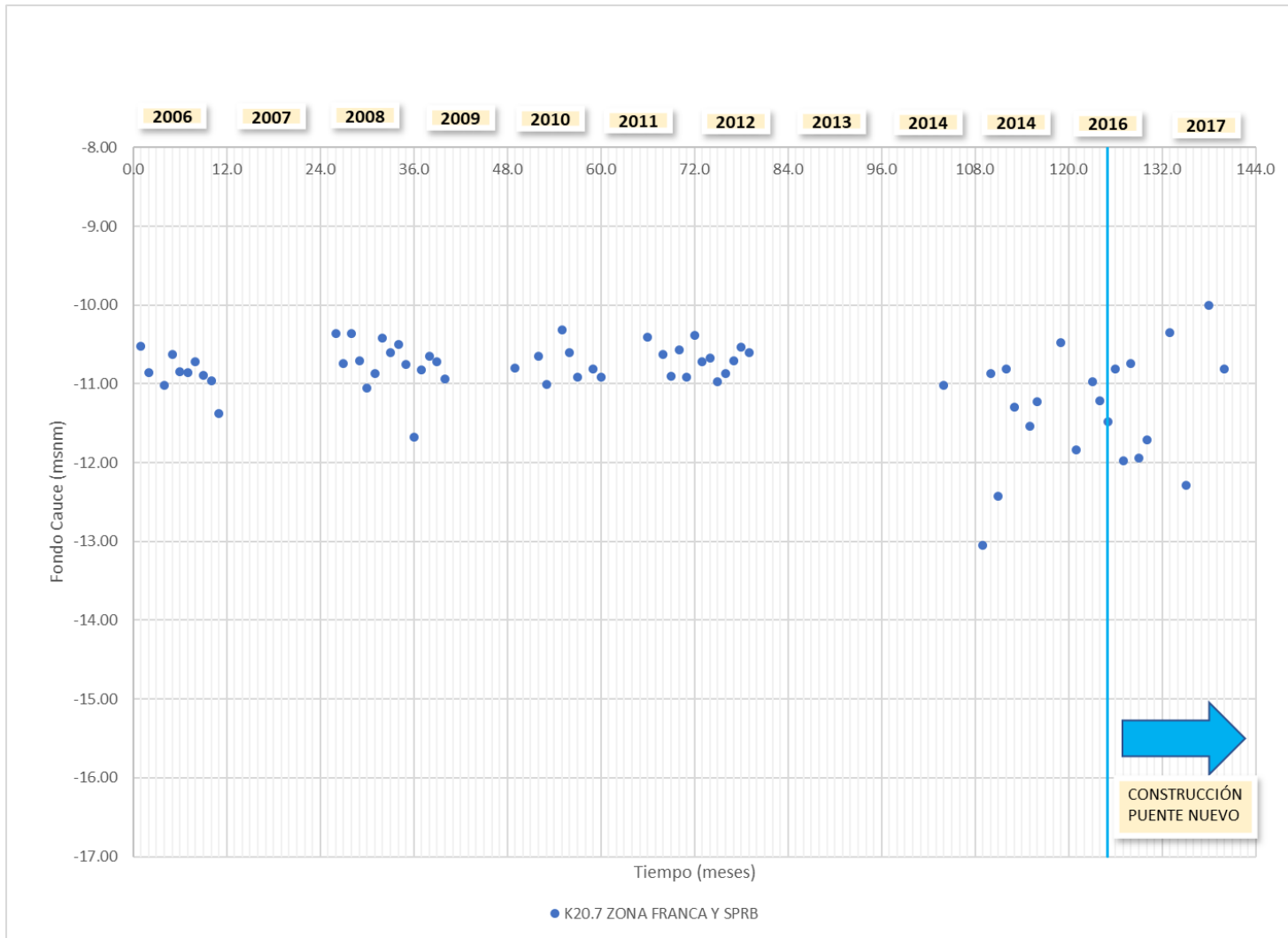


Figura 104. Análisis multitemporal de cotas de fondo sector K20+700 Zona Franca y SPRB Fuente: Elaboración propia

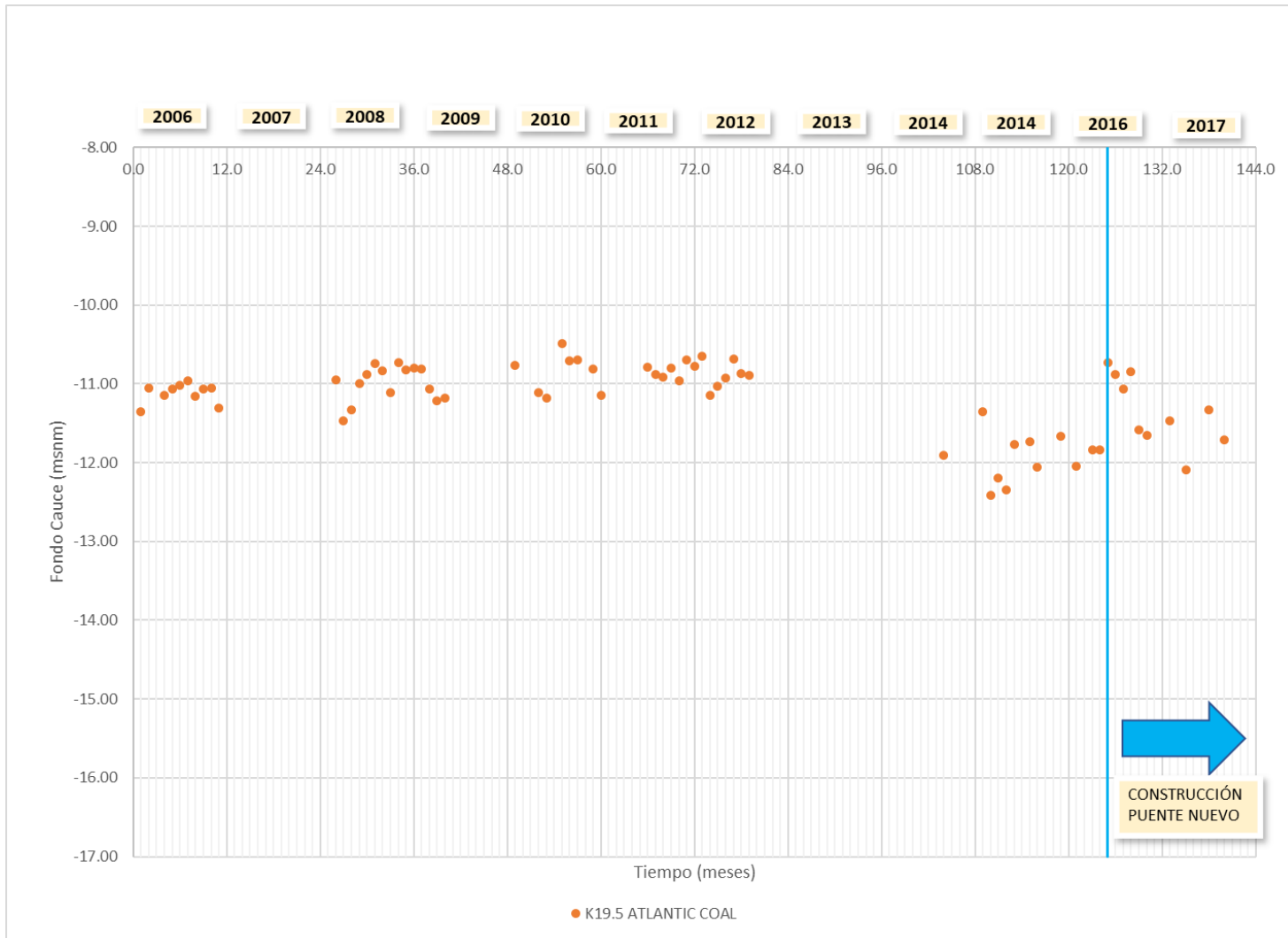


Figura 105. Análisis multitemporal de cotas de fondo sector K19+500 Atlantic Coal Fuente: Elaboración propia

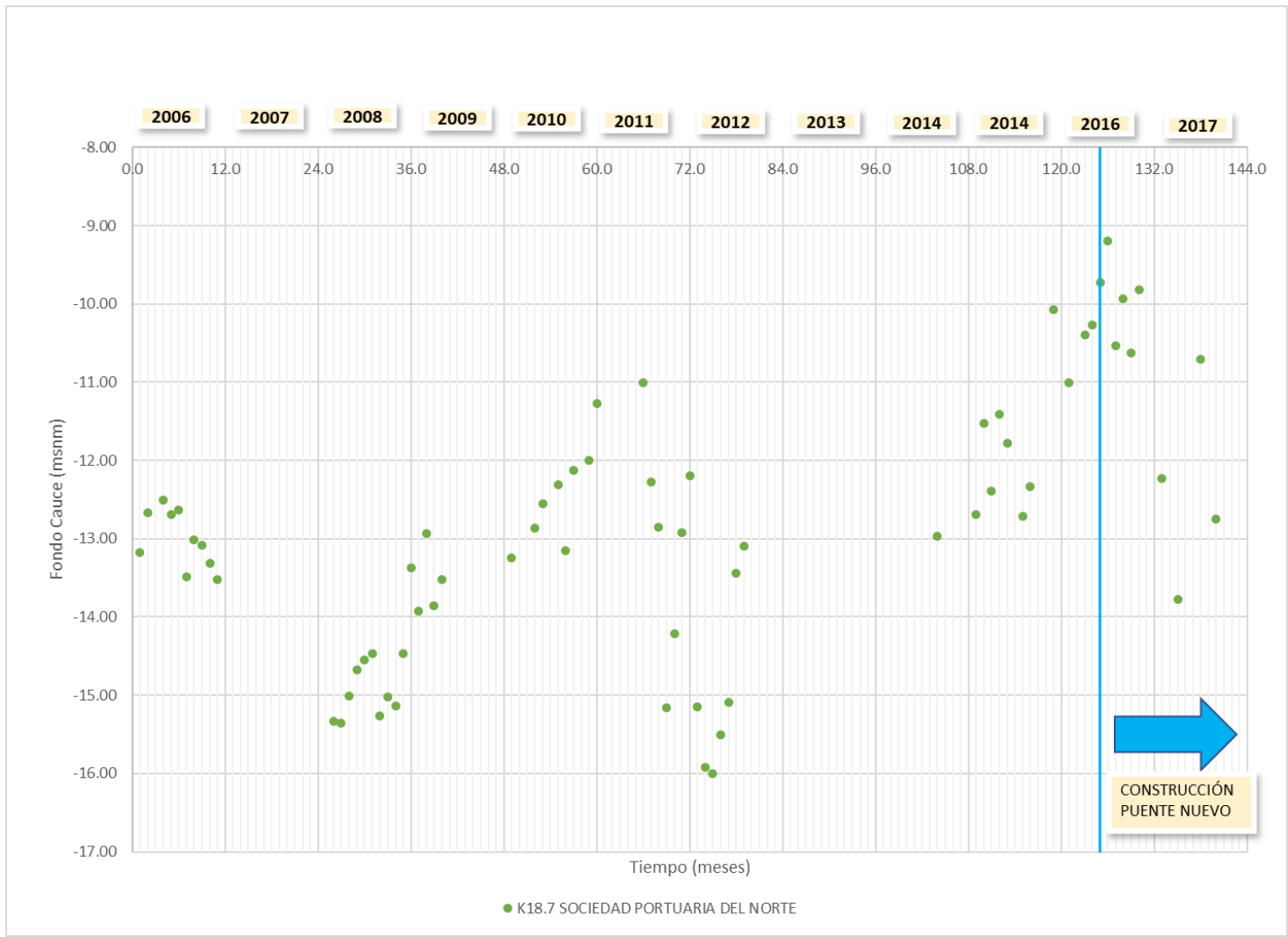


Figura 106. Análisis multitemporal de cotas de fondo sector K18+700 Sociedad Portuaria del Norte Fuente: Elaboración propia

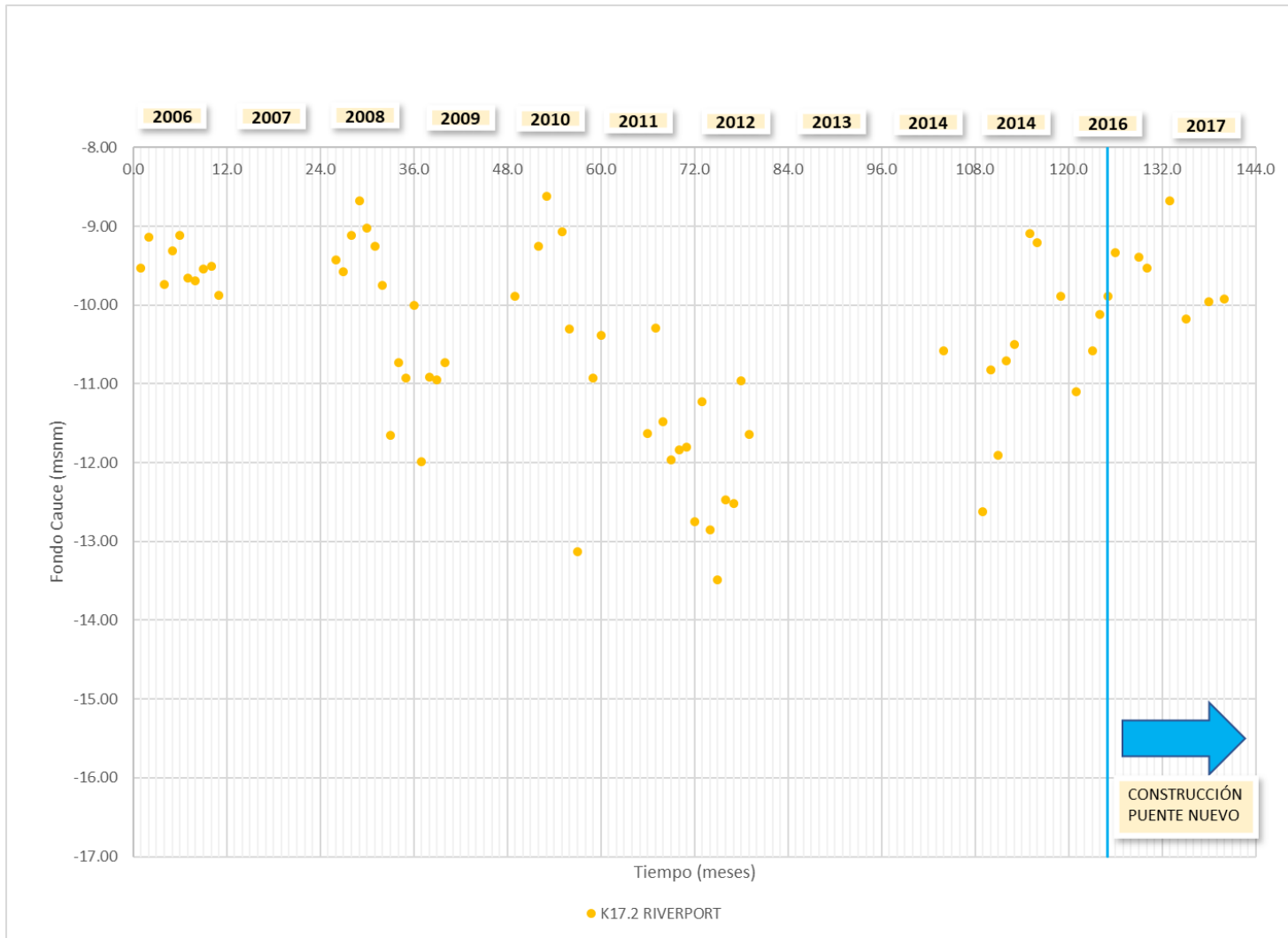


Figura 107. Análisis multitemporal de cotas de fondo sector K17+200 RIVERPORT Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 104, que en el sector del K20+700 desde el año 2006 hasta el año 2014 se mantiene la profundidad de manera estable entre un rango de -11 a -10 msnm. Entre enero de 2015 y agosto de 2017 se presenta una dispersión mayor en los datos, llegando a profundidades de hasta -13 msnm en enero de 2015, lo cual probablemente se deba a actividades de dragado y subiendo hasta un valor de -10 msnm en junio de 2017, pero dentro de los límites normales que se han presentado en el sector. No se observa ningún comportamiento de sedimentación atribuible a la construcción del puente.

Se puede observar en la Figura 105, que en el sector del K19+500 desde el año 2006 hasta el año 2012 se mantiene la profundidad de manera estable entre un rango de -10.5 a -11.5 msnm. Entre el año 2014 hasta abril de 2016 se observa una profundización estable del cauce hasta aproximadamente los -12.0 msnm. En el año de construcción del puente se observa un aumento de la cota de fondo hasta los -11.0 msnm para después de julio recuperar la profundidad de los -12.0 msnm. A pesar de que en el año de construcción del puente hubo unos procesos de sedimentación, estos no podrían ser atribuibles al puente, ya que los valores obtenidos de profundidad son muy similares a los que se tenían de manera natural entre los años 2006 a 2012.

En la Figura 106, se observa que en el sector del K18+700 posee un comportamiento de la cota más errático, con valores cambiando entre -11 y -16 msnm hasta el año 2012. Desde agosto de 2014 el fondo tuvo una tendencia a sedimentarse hasta un mínimo de profundidad alcanzado en el mes junio de 2016, un mes después del inicio de la construcción del puente, desde este punto se recupera el fondo del cauce. No hay procesos de sedimentación que se puedan asociar a la construcción del nuevo puente Pumarejo, los procesos de agradación que se observan iniciaron antes y coinciden con las obras de infraestructura portuaria construida en este sector, y por la cual se sedimentó una parte de la margen izquierda del río.

Finalmente, en la Figura 107, se observa en el sector del K17+200 un comportamiento errático en la cota de fondo del cauce durante todo el periodo de

análisis variando con límites máximos entre -8.5 y -14 msnm. Al igual que para el sector de K18+700, se observa una tendencia a la sedimentación desde el año 2014. Después de la construcción del puente se encuentra en valores bajos de profundidad, sin embargo, similares a los que tenía el río antes de la construcción del puente.

Capítulo 7 Conclusiones

- Con base en la investigación del estado del arte del transporte de sedimentos y los programas existentes para poder realizar la modelación matemática del fenómeno, se concluye que tanto las formulaciones definidas para estimar el transporte de sedimentos, como los esquemas de solución utilizados por los programas generan una simplificación del proceso, que de por sí, es bastante complejo, debido al sinnúmero de variables que intervienen en el mismo, y que no pueden ser reproducidas en su totalidad por las formulaciones matemáticas que tenemos.
- Durante el proceso de modelación se presentaron problemas en cuanto a la capacidad de los equipos de cómputo disponibles para generar el proceso, ya que como se mencionó previamente, la delimitación espacial y temporal del problema es bastante amplia, razón por la cual, para el propósito de la presente Tesis hubo la necesidad de limitar ciertos aspectos que se numeran a continuación:
 - Calibración hidrodinámica del modelo IBER 2D, mediante la implementación de un modelo unidimensional en HEC RAS, teniendo en cuenta la similitud de resultados obtenidos entre los dos programas.
 - Limitar la longitud del modelo hacia aguas abajo, sacrificando en el proceso exactitud en los niveles por influencia de la marea del mar Atlántico. Sin embargo, tal y como se especifica en el documento, esta variación puede ser del orden de ± 0.20 m.
 - No generar una calibración del módulo sedimentológico, por la imposibilidad de poder modelar el periodo de tiempo existente entre cada toma de información batimétrica. Sin embargo, esta falencia de cierto modo se compensó con la calidad de la información hidro-sedimentológica existente por medio de los estudios previos de caracterización del canal navegable, realizado por CORMAGDALENA.
- Los resultados obtenidos en la modelación sedimentológica indican una tendencia del proceso de transporte de sedimento y de la dinámica de erosión y sedimentación de la corriente de agua, bajo unas condiciones de sedimentos adoptada y un caudal dominante y constante de $8000 \text{ m}^3/\text{s}$. Por lo tanto, en todos los resultados sedimentológicos obtenidos se habla siempre de tendencia y no de valores absolutos.

- Como resultado del modelo hidrodinámico y sedimentológico, se puede concluir que la construcción del nuevo puente Pumarejo afecta el transporte de sedimentos de manera local únicamente. Es decir, que por efecto del aumento de la velocidad en el canal navegable que se observa en la Figura 58, se produce una capacidad de arrastre un poco mayor; sin embargo, una vez cruza el obstáculo que imponen las pilas de ambos puentes no tiene más capacidad de transporte y deposita el material justo aguas abajo, tal y como se observa en la Figura 62. Esto coincide con los resultados obtenidos por en el informe “Estudios y Diseños Mejoramiento en la Infraestructura y Navegación del Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla hasta el Sector de PIMSA del año 2019”.
- Este mismo tipo de afectación se observa en el modelo del Escenario 1, sólo con el puente Pumarejo antiguo, ver Figura 57 y Figura 61. Por lo tanto, se puede afirmar que, una vez construido el puente del año 1974, se debió generar el mismo efecto.
- Con base en los resultados obtenidos del análisis multitemporal de las batimetrías, se puede concluir que para ninguna de las cuatro secciones analizadas se puede relacionar la construcción del puente con eventos de sedimentación incipiente.
- Con base en los análisis multitemporales de imágenes satelitales presentado en la Figura 38 a la Figura 46 y de cota de las batimetrías se puede afirmar que las obras construidas para la operación de la zona portuaria desde el año 2012 si produjeron un cambio drástico en la morfología del cauce, generando una sedimentación completa y pérdida de parte de la orilla de margen izquierda del río, ya que actuaban como un espolón.
- El río Magdalena en la zona de la desembocadura en Bocas de Ceniza, posee una carga de sedimentos muy alta, de alrededor de 200 millones de toneladas de sedimentos por año. Por lo tanto, cualquier obra que se incluya en el cauce tendrá algún tipo de efecto en el mismo; desde pequeñas modificaciones locales por efecto de pilas de puentes, como grandes modificaciones de alineamiento y movilidad del lecho por efecto de diques direccionadores, espolones o estructuras portuarias muy invasivas.

Capítulo 8 Bibliografía

- Alvarado, M. (2008). *Río Magdalena, navegación marítima y fluvial (1986-2008)*. Ediciones Uninorte.
- Alvarado, M. (2019). *Comentarios técnicos generales a la presentación realizada por el Consultor de INVIAS en el Hotel Country de Barranquilla el 08 marzo 2019 y a la documentación recibida de INVIAS a través de la Gobernación del Atlántico el 02 de abril 2019*.
- ASOPORTUARIA. (n.d.). *Ubicación Geográfica Terminales Portuarias*. Recuperado julio 14, 2021, desde <https://asoportuaria.com/zona-portuaria/ubicacion-geografica/>
- Basile, P. A. (2018). *TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y MORFODINÁMICA DE RÍOS ALUVIALES* (1st ed.). Universidad Nacional De Rosario. www.unreditora.edu.ar
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Calculo y Diseño En Ingeniería*, 30(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>
- Brunner, G. (2016). *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic References Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos* (M. Suarez, Ed.). McGraw Hill Interamericana S.A.
- Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA. (2005). *INFORME FINAL ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN EL CANAL NAVEGABLE DE ACCESO AL PUERTO DE BARRANQUILLA ENTRE BOCAS DE CENIZA (K0) Y PUENTE PUMAREJO (K22) GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA ACTUALIZACIÓN CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA Y SEDIMENTOLÓGICA MODELACIÓN MATEMÁTICA CON YUMA HS-2D*.
- Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena CORMAGDALENA. (2007). *Actualización de la Caracterización Hidráulica y Sedimentológica del Río Magdalena para los Estudios e Investigaciones en el Canal Navegable de Acceso al Puerto de Barranquilla entre Bocas de Ceniza (K0) y Puente Pumarejo (K22)*.
- Graf, W. H. (1998). *Hydraulics of Sediment Transport*. Water Resources Publications LLC.
- IBER, *Manual de referencia hidráulico*. (2014).
- Khullar, N. K., Kothiyari, U. C., & Rnaga, K. G. (2013). Study of deposition of fine sediments within the pores of a coarse sediment bed stream. *International Journal of Sediment Research*, 28(2), 210–219.

- Komura, S. (1961). Bulk Properties of River Bed Sediments and its Application to Sediment Hydraulics. *Japanese National Congress for Applied Mechanics*.
- Manterola, J. (2013). *Volumen No. VIII: Estudio y Diseño de Estructuras Contrato 2200 – diciembre 2011 para la complementación de los estudios y diseños definitivos (fase III) para la Solución Integral del paso sobre el Río Magdalena en Barranquilla*.
- Monsalve, G. (2014). *Volumen No. VII: Estudio de hidrología, Hidráulica y Socavación Contrato 2200 – diciembre 2011 para la complementación de los estudios y diseños definitivos (fase III) para la Solución Integral del paso sobre el Río Magdalena en Barranquilla*.
- Morandi, R. (1970). *Puente sobre el Río Magdalena en Barranquilla*.
- Pedroza, E. (2018). *Hidráulica Básica Historia, conceptos previos y ecuaciones* (1st ed.). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Redacción El Tiempo. (2014, June 6). \$25 mil millones costará demoler puente “Pumarejo” de Barranquilla. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14087308>
- Revista Semana. (2016, diciembre 16). Alarma en el río Magdalena. *Revista Semana*. <https://www.semana.com/nacion/articulo/rio-magdalena-consecuencias-en-las-obras-del-puente-pumarejo/509766/>
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial*.
- SACYR Colombia. (2019, diciembre 16). Así luce el impresionante Puente Pumarejo a 5 días de su inauguración. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/con-el-puente-pumarejo-colombia-tendra-una-obra-mas-alta-que-la-estatua-de-la-libertad-443702>
- Schumm, S., & Winkley, B. (1994). *The Variability of Large Alluvial Rivers*. American Society of Civil Engineers.
- Sierra, F. (2015). *Comparación entre metodologías de modelación hidrológica HEC HMS, hidráulica en 1D HEC-RAS y 2D modelo IBER, de planicies de inundación y zonas urbanas para el caso de Villa Pinzón, Cundinamarca*.
- Simons, D., & Sentürk, F. (1977). *Sediment Transport Technology*.
- Thanos Papanicolaou, A. N., Elhakeem, M., Krallis, G., Prakash, S., & Edinger, J. (2008). Sediment Transport Modeling Review-Current and Future Developments. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Wilcock, P., Pitlick, J., & Cui, Y. (2009). *Sediment Transport Primer Estimating Bed-Material Transport in Gravel-bed Rivers*. <http://www.stream.fs.fed.us/publications/software.html>.

Yang, C. T. (1996). *Sediment Transport Theory and Practice*.

ANEXOS

Anexo 1 – Información Hidrométrica y Niveles

Estación Calamar Caudales Medios Mensuales

Estación Calamar Niveles Medios Diarios (2000-2012)

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2000
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	8.11	6.14	5.03	4.77	5.25	6.26	7.06	6.70	6.07	6.97	7.33	7.32
2	8.09	6.09	5.09	4.77	5.26	6.31	7.08	6.69	6.10	6.99	7.33	7.29
3	8.08	5.95	5.14	4.76	5.27	6.34	7.09	6.68	6.12	7.02	7.33	7.28
4	8.06	5.87	5.18	4.76	5.29	6.36	7.10	6.67	6.16	7.06	7.35	7.28
5	8.04	5.8	5.2	4.75	5.25	6.39	7.11	6.68	6.20	7.10	7.34	7.26
6	8.04	5.73	5.23	4.75	5.31	6.43	7.11	6.69	6.23	7.11	7.33	7.25
7	8	5.68	5.25	4.76	5.34	6.48	7.11	6.69	6.27	7.13	7.33	7.24
8	7.97	5.62	5.27	4.78	5.36	6.52	7.12	6.70	6.32	7.17	7.35	7.22
9	7.93	5.7	5.27	4.81	5.43	6.56	7.12	6.69	6.35	7.19	7.35	7.20
10	7.9	5.65	5.3	4.81	5.50	6.60	7.10	6.69	6.37	7.20	7.36	7.16
11	7.87	5.45	5.31	4.8	5.51	6.64	7.09	6.69	6.40	7.22	7.38	7.12
12	7.85	5.36	5.3	4.78	5.53	6.66	7.07	6.67	6.43	7.24	7.40	7.07
13	7.79	5.25	5.29	4.75	5.56	6.68	7.05	6.65	6.48	7.26	7.40	7.02
14	7.75	5.15	5.26	4.75	5.60	6.70	7.03	6.63	6.51	7.28	7.41	6.98
15	7.7	5.04	5.24	4.77	5.62	6.72	7.01	6.60	6.54	7.29	7.42	6.94
16	7.63	4.95	5.22	4.8	5.67	6.75	6.96	6.58	6.57	7.30	7.42	6.84
17	7.57	4.8	5.21	4.87	5.71	6.77	6.93	6.57	6.60	7.32	7.42	6.80
18	7.49	4.73	5.2	4.89	5.74	6.79	6.93	6.54	6.62	7.33	7.42	6.71
19	7.45	4.65	5.18	4.92	5.77	6.81	6.89	6.51	6.65	7.34	7.42	6.64
20	7.34	4.58	5.17	4.95	5.81	6.84	6.87	6.47	6.68	7.35	7.42	6.54
21	7.24	4.55	5.15	4.97	5.85	6.86	6.85	6.43	6.68	7.35	7.41	6.43
22	7.16	4.56	5.07	5	5.89	6.88	6.84	6.37	6.70	7.35	7.41	6.37
23	7.05	4.53	5.02	5.06	5.93	6.91	6.83	6.29	6.74	7.36	7.41	6.31
24	6.95	4.5	4.95	5.1	5.96	6.93	6.80	6.23	6.76	7.36	7.40	6.22
25	6.88	4.51	4.89	5.12	5.99	6.98	6.76	6.16	6.78	7.36	7.39	6.11
26	6.71	4.57	4.83	5.16	6.03	6.99	6.73	6.08	6.81	7.35	7.38	6.00
27	6.6	4.63	4.8	5.19	6.07	7.00	6.71	6.05	6.86	7.34	7.38	5.93
28	6.5	4.72	4.81	5.21	6.10	7.01	6.70	6.00	6.87	7.33	7.37	5.85
29	6.4	4.96	4.82	5.23	6.14	7.04	6.70	6.01	6.91	7.33	7.35	5.80
30	6.3		4.78	5.24	6.20	7.05	6.69	6.01	6.94	7.33	7.31	5.66
31	6.22		4.77		6.24		6.69	6.03		7.33		6.73
PROMEDIO	7.44	5.16	5.10	4.91	5.68	6.71	6.94	6.47	6.52	7.25	7.38	6.73
MÁXIMO	8.11	6.14	5.31	5.24	6.24	7.05	7.12	6.70	6.94	7.36	7.42	7.32
MÍNIMO	6.22	4.50	4.77	4.75	5.25	6.26	6.69	6.00	6.07	6.97	7.31	5.66

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2001
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	5.72	3.70	2.15	3.84	3.17	4.78	4.57	4.49	3.51	4.93	5.78	6.47
2	5.68	3.51	2.19	3.79	3.11	4.85	4.55	4.49	3.52	4.96	5.81	6.47
3	5.65	3.35	2.27	3.74	3.13	4.91	4.45	4.49	3.55	5.01	5.85	6.49
4	5.61	3.20	2.33	3.69	3.14	4.96	4.45	4.49	3.43	5.06	5.89	6.50
5	5.53	3.07	2.36	3.63	3.16	5.01	4.44	4.50	3.46	5.06	5.92	6.50
6	5.45	2.95	2.31	3.57	3.25	5.05	4.38	4.49	3.54	5.03	5.95	6.49
7	5.36	2.83	2.26	3.47	3.39	5.09	4.32	4.48	3.62	5.03	5.98	6.49
8	5.29	2.76	2.31	3.37	3.52	5.14	4.28	4.45	3.71	5.03	6.00	6.48
9	5.16	2.75	2.50	3.31	3.64	5.17	4.25	4.44	3.78	5.03	6.03	6.49
10	5.06	2.76	2.80	3.21	3.78	5.18	4.24	4.39	3.84	5.04	6.07	6.51
11	4.95	2.75	2.90	3.19	3.96	5.19	4.24	4.35	3.86	5.09	6.09	6.48
12	4.84	2.69	3.00	3.18	4.15	5.19	4.26	4.28	3.90	5.11	6.10	6.49
13	4.68	2.58	3.00	3.18	4.25	5.19	4.33	4.15	3.92	5.15	6.10	6.50
14	4.59	2.41	3.10	3.20	4.35	5.17	4.41	4.02	3.97	5.16	6.10	6.51
15	4.48	2.28	3.10	3.29	4.37	5.18	4.44	3.90	4.07	5.16	6.10	6.50
16	4.40	2.18	3.00	3.37	4.39	5.19	4.44	3.78	4.16	5.17	6.11	6.49
17	4.21	2.11	3.00	3.42	4.40	5.17	4.44	3.68	4.24	5.18	6.16	6.47
18	4.10	2.07	2.90	3.43	4.44	5.17	4.43	3.60	4.35	5.18	6.21	6.45
19	3.98	2.04	2.80	3.48	4.47	5.15	4.41	3.54	4.44	5.21	6.23	6.44
20	3.88	2.04	2.80	3.53	4.51	5.12	4.38	3.49	4.50	5.28	6.24	6.47
21	3.86	2.05	2.82	3.59	4.53	5.09	4.34	3.46	4.54	5.36	6.26	6.48
22	3.88	2.07	2.89	3.63	4.54	5.09	4.32	3.41	4.55	5.39	6.27	6.48
23	3.90	2.06	3.02	3.67	4.55	5.09	4.34	3.37	4.61	5.45	6.29	6.46
24	3.91	2.03	3.16	3.67	4.57	5.07	4.35	3.35	4.65	5.50	6.31	6.46
25	3.97	2.05	3.32	3.62	4.59	5.04	4.38	3.37	4.67	5.53	6.33	6.45
26	4.02	2.09	3.53	3.55	4.59	4.99	4.43	3.43	4.72	5.58	6.36	6.48
27	4.06	2.11	3.68	3.45	4.61	4.94	4.47	3.45	4.76	5.62	6.39	6.48
28	4.05	2.13	3.74	3.38	4.63	4.88	4.49	3.46	4.78	5.65	6.40	6.49
29	4.02		3.81	3.33	4.66	4.79	4.50	3.44	4.83	5.70	6.42	6.50
30	3.96		3.88	3.23	4.69	4.67	4.50	3.43	4.87	5.72	6.44	6.48
31	3.87		3.89		4.76		4.50	3.46		5.75		6.48
PROMEDIO	4.58	2.52	2.93	3.47	4.10	5.05	4.40	3.91	4.14	5.26	6.14	6.48
MÁXIMO	5.72	3.70	3.89	3.84	4.76	5.19	4.57	4.50	4.87	5.75	6.44	6.51
MÍNIMO	3.86	2.03	2.15	3.18	3.11	4.67	4.24	3.35	3.43	4.93	5.78	6.44

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2002
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	6.48	3.84	2.34	3.50	5.01	5.32	6.27	4.74	4.06	4.48	5.27	6.02
2	6.48	3.72	2.34	3.56	5.04	5.36	6.24	4.66	4.12	4.61	5.43	5.98
3	6.48	3.64	2.32	3.57	5.13	5.41	6.22	4.61	4.21	4.67	5.57	5.90
4	6.47	3.55	2.25	3.54	5.21	5.48	6.17	4.55	4.34	4.71	5.57	5.84
5	6.45	3.44	2.18	3.53	5.28	5.57	6.12	4.52	4.35	4.67	5.62	5.78
6	6.40	3.38	2.09	3.53	5.31	5.63	6.07	4.41	4.38	4.62	5.69	5.70
7	6.34	3.41	2.04	3.53	5.32	5.68	6.03	4.37	4.42	4.58	5.75	5.62
8	6.29	3.43	1.95	3.53	5.32	5.72	5.97	4.31	4.42	4.44	5.81	5.53
9	6.21	3.41	1.91	3.53	5.31	5.78	5.93	4.23	4.30	4.46	5.85	5.43
10	6.13	3.38	1.92	3.55	5.27	5.86	5.92	4.08	4.26	4.43	5.98	5.35
11	6.05	3.31	1.95	3.63	5.24	5.89	5.88	3.99	4.20	4.41	6.04	5.29
12	5.97	3.19	1.95	3.75	5.20	5.94	5.83	4.00	4.17	4.37	6.09	5.25
13	5.89	3.08	1.93	3.85	5.17	5.97	5.78	4.03	4.13	4.34	6.13	5.07
14	5.81	2.99	1.85	3.96	5.13	6.01	5.72	4.00	4.09	4.32	6.15	5.00
15	5.72	2.93	1.85	4.06	5.04	6.06	5.64	3.97	4.05	4.39	6.19	4.95
16	5.58	2.85	1.89	4.14	4.98	6.12	5.56	3.92	4.03	4.37	6.23	4.77
17	5.47	2.76	1.94	4.19	4.91	6.17	5.58	3.85	3.99	4.36	6.24	4.71
18	5.37	2.72	2.07	4.25	4.84	6.21	5.40	3.84	3.94	4.32	6.25	4.72
19	5.28	2.66	2.16	4.26	4.82	6.25	5.28	3.70	3.94	4.31	6.25	4.80
20	5.20	2.57	2.32	4.27	4.76	6.27	5.21	3.60	3.94	4.35	6.26	4.90
21	5.11	2.48	2.49	4.28	4.75	6.31	5.13	3.58	3.94	4.37	6.26	4.96
22	5.00	2.40	2.56	4.30	4.84	6.34	5.10	3.59	3.90	4.37	6.26	5.13
23	4.89	2.42	2.73	4.33	4.93	6.35	5.10	3.62	3.94	4.49	6.26	5.21
24	4.78	2.45	2.90	4.37	4.97	6.36	5.10	3.70	4.10	4.53	6.26	5.24
25	4.69	2.45	3.07	4.44	5.03	6.36	5.07	3.88	4.21	4.56	6.23	5.23
26	4.54	2.41	3.23	4.52	5.13	6.36	5.04	3.97	4.28	4.59	6.22	5.19
27	4.42	2.37	3.34	4.60	5.14	6.36	5.02	4.05	4.30	4.66	6.21	5.16
28	4.32	2.34	3.36	4.74	5.15	6.34	4.97	4.02	4.31	4.77	6.17	5.12
29	4.21		3.36	4.84	5.17	6.31	4.93	3.88	4.31	4.84	6.12	5.06
30	4.08		3.40	4.95	5.22	6.28	4.90	3.89	4.32	5.03	6.07	5.03
31	3.98		3.46		5.26		4.85	3.98		5.16		4.88
PROMEDIO	5.48	2.98	2.42	4.03	5.09	6.00	5.55	4.05	4.16	4.53	6.01	5.25
MÁXIMO	6.48	3.84	3.46	4.95	5.32	6.36	6.27	4.74	4.42	5.16	6.26	6.02
MÍNIMO	3.98	2.34	1.85	3.50	4.75	5.32	4.85	3.58	3.90	4.31	5.27	4.71

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2003
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	4.75	1.98	1.77	2.46	4.89	5.30	6.21	5.77	5.45	5.52	6.74	7.48
2	4.63	2.02	1.74	2.49	4.96	5.31	6.21	5.73	5.44	5.54	6.74	7.49
3	4.53	2.02	1.78	2.54	5.01	5.34	6.21	5.72	5.41	5.58	6.82	7.50
4	4.49	2.01	1.83	2.67	5.01	5.36	6.20	5.74	5.39	5.61	6.85	7.52
5	4.31	1.94	1.90	2.83	5.02	5.39	6.21	5.76	5.50	5.67	6.89	7.54
6	4.16	1.92	2.01	2.89	4.99	5.41	6.18	5.78	5.28	5.70	6.90	7.56
7	3.97	1.86	2.10	2.84	4.96	5.46	6.19	5.83	5.22	5.73	6.92	7.59
8	3.80	1.76	2.14	2.74	4.94	5.51	6.18	5.87	5.13	5.76	6.96	7.60
9	3.63	1.69	2.19	2.60	4.94	5.56	6.16	5.88	5.08	5.78	6.98	7.61
10	3.48	1.66	2.17	2.54	4.93	5.61	6.15	5.88	5.04	5.87	7.00	7.61
11	3.37	1.62	2.08	2.43	4.94	5.62	6.15	5.88	5.07	5.92	7.02	7.61
12	3.30	1.62	1.98	2.40	4.91	5.62	6.17	5.87	5.03	5.97	7.06	7.61
13	3.19	1.62	1.88	2.41	4.87	5.64	6.25	5.85	5.01	6.01	7.09	7.63
14	3.10	1.82	1.78	2.49	4.99	5.65	6.19	5.84	5.08	6.06	7.10	7.65
15	3.01	1.87	1.70	2.61	5.03	5.67	6.20	5.76	5.11	6.11	7.13	7.66
16	2.84	1.96	1.63	2.75	5.09	5.70	6.20	5.74	5.11	6.14	7.16	7.66
17	2.67	2.02	1.52	2.96	5.13	5.73	6.20	5.70	5.09	6.19	7.18	7.67
18	2.57	2.01	1.58	3.18	5.12	5.76	6.20	5.67	5.16	6.24	7.19	7.67
19	2.54	2.03	1.70	3.50	5.12	5.86	6.18	5.63	5.17	6.26	7.20	7.66
20	2.54	2.06	1.93	3.71	5.14	5.94	6.16	5.59	5.15	6.31	7.22	7.66
21	2.61	2.11	2.15	3.87	5.15	5.95	6.16	5.55	5.15	6.37	7.24	7.67
22	2.48	2.21	2.37	4.13	5.16	5.98	6.15	5.53	5.18	6.39	7.27	7.67
23	2.41	2.29	2.57	4.18	5.22	6.06	6.09	5.49	5.19	6.43	7.29	7.68
24	2.45	2.24	2.70	4.29	5.27	6.09	6.03	5.44	5.21	6.46	7.31	7.67
25	2.48	2.12	2.80	4.36	5.27	6.11	5.95	5.41	5.22	6.49	7.34	7.66
26	2.47	2.01	2.82	4.48	5.28	6.13	5.87	5.44	5.24	6.54	7.36	7.65
27	2.37	1.88	2.70	4.60	5.26	6.16	5.77	5.46	5.29	6.55	7.38	7.64
28	2.25	1.77	2.59	4.71	5.28	6.17	5.74	5.46	5.33	6.57	7.40	7.62
29	2.16		2.54	4.79	5.29	6.19	5.74	5.45	5.35	6.62	7.42	7.59
30	2.09		2.52	4.85	5.30	6.20	5.74	5.44	5.41	6.66	7.44	7.56
31	2.04		2.48		5.30		5.77	5.44		6.71		7.54
PROMEDIO	3.12	1.93	2.12	3.31	5.09	5.75	6.09	5.66	5.21	6.12	7.12	7.61
MÁXIMO	4.75	2.29	2.82	4.85	5.30	6.20	6.25	5.88	5.50	6.71	7.44	7.68
MÍNIMO	2.04	1.62	1.52	2.40	4.87	5.30	5.74	5.41	5.01	5.52	6.74	7.48

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2004
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	7.46	4.76	2.93	2.40	4.59	5.84	5.53	5.44	4.73	5.84	6.75	7.68
2	7.42	4.64	2.95	2.54	4.62	5.87	5.43	5.44	4.75	5.86	6.77	7.70
3	7.37	4.51	2.95	2.62	4.63	5.92	5.38	5.43	4.77	5.90	6.79	7.71
4	7.32	4.37	3.02	2.60	4.64	5.94	5.32	5.41	4.78	5.92	6.81	7.72
5	7.26	4.24	3.03	2.56	4.68	5.97	5.25	5.39	4.79	5.92	6.84	7.73
6	7.20	4.09	3.01	2.52	4.74	6.00	5.21	5.38	4.75	5.93	6.85	7.74
7	7.14	4.07	2.93	2.60	4.80	6.01	5.18	5.40	4.77	5.95	6.91	7.75
8	7.04	3.85	2.83	2.75	4.86	6.03	5.15	5.45	4.78	5.96	6.95	7.75
9	6.95	3.74	2.77	2.78	4.89	6.09	5.11	5.47	4.82	6.01	7.00	7.75
10	6.86	3.61	2.78	2.75	4.92	6.14	5.09	5.48	4.88	6.04	7.06	7.75
11	6.78	3.47	2.80	2.73	4.97	6.18	5.07	5.50	4.90	6.08	7.11	7.74
12	6.74	3.34	2.80	2.68	5.03	6.20	5.07	5.44	4.98	6.12	7.14	7.72
13	6.69	3.23	2.78	2.66	5.04	6.21	5.08	5.35	5.09	6.13	7.15	7.71
14	6.62	3.12	2.75	2.72	5.05	6.21	5.08	5.31	5.22	6.19	7.16	7.71
15	6.60	3.06	2.67	2.80	5.06	6.21	5.10	5.22	5.36	6.20	7.20	7.70
16	6.47	3.07	2.55	2.88	5.06	6.19	5.12	5.13	5.38	6.22	7.22	7.69
17	6.39	3.09	2.42	2.98	5.08	6.14	5.13	5.07	5.47	6.26	7.25	7.69
18	6.30	3.08	2.30	3.12	5.11	6.09	5.16	4.94	5.53	6.31	7.27	7.66
19	6.20	3.02	2.22	3.30	5.14	6.08	5.22	4.80	5.56	6.32	7.31	7.64
20	6.11	2.93	2.15	3.53	5.19	6.05	5.23	4.80	5.59	6.33	7.34	7.61
21	5.98	2.77	2.15	3.70	5.22	6.04	5.24	4.78	5.66	6.35	7.37	7.58
22	5.85	2.68	2.14	3.83	5.25	6.01	5.26	4.75	5.68	6.38	7.41	7.55
23	5.72	2.63	2.08	3.92	5.32	5.99	5.28	4.72	5.72	6.44	7.43	7.53
24	5.61	2.60	1.99	4.02	5.39	5.96	5.32	4.72	5.71	6.48	7.47	7.49
25	5.52	2.62	1.95	4.11	5.48	5.92	5.35	4.73	5.75	6.53	7.49	7.45
26	5.44	2.68	1.94	4.24	5.53	5.86	5.38	4.72	5.77	6.54	7.54	7.41
27	5.38	2.73	1.93	4.35	5.61	5.81	5.39	4.78	5.77	6.57	7.58	7.39
28	5.28	2.74	2.03	4.47	5.66	5.73	5.38	4.65	5.77	6.62	7.61	7.34
29	5.16	2.86	2.06	4.48	5.72	5.67	5.41	4.65	5.77	6.64	7.64	7.27
30	5.04		2.09	4.53	5.78	5.58	5.42	4.67	5.82	6.70	7.66	7.20
31	4.88		2.17		5.81		5.43	4.71		6.73		7.61
PROMEDIO	6.35	3.36	2.49	3.24	5.12	6.00	5.25	5.09	5.27	6.24	7.20	7.61
MÁXIMO	7.46	4.76	3.03	4.53	5.81	6.21	5.53	5.50	5.82	6.73	7.66	7.75
MÍNIMO	4.88	2.60	1.93	2.40	4.59	5.58	5.07	4.65	4.73	5.84	6.75	7.20

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2005
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	7.05	4.52	3.88	3.15	4.76	6.17	6.54	5.90	5.57	5.41	6.57	8.00
2	6.97	4.38	3.75	3.20	4.80	6.20	6.54	5.81	5.54	5.48	6.62	8.06
3	6.88	4.27	3.64	3.25	4.86	6.21	6.54	5.71	5.51	5.52	6.70	8.13
4	6.78	4.19	3.55	3.32	4.90	6.23	6.54	5.68	5.49	5.59	6.70	8.21
5	6.66	4.15	3.50	3.39	4.92	6.26	6.54	5.64	5.47	5.64	6.73	8.27
6	6.62	4.10	3.52	3.50	4.96	6.28	6.52	5.60	5.46	5.64	6.75	8.32
7	6.38	4.04	3.59	3.63	5.01	6.29	6.49	5.59	5.46	5.66	6.78	8.37
8	6.25	3.98	3.65	3.75	5.06	6.31	6.46	5.54	5.46	5.70	6.81	8.43
9	6.11	3.89	3.70	3.72	5.12	6.35	6.45	5.49	5.44	5.74	6.84	8.48
10	5.99	3.79	3.76	3.74	5.20	6.39	6.44	5.45	5.41	5.83	6.87	8.51
11	5.87	3.73	3.78	3.83	5.26	6.43	6.43	5.42	5.40	5.78	6.92	8.51
12	5.79	3.72	3.80	3.87	5.31	6.44	6.40	5.42	5.39	5.72	6.95	8.51
13	5.72	3.78	3.77	3.97	5.34	6.44	6.39	5.42	5.37	5.74	6.93	8.51
14	5.64	3.99	3.74	4.05	5.36	6.46	6.36	5.41	5.33	5.78	6.93	8.49
15	5.57	4.13	3.73	4.12	5.38	6.48	6.35	5.38	5.30	5.80	7.11	8.46
16	5.51	4.27	3.68	4.19	5.41	6.50	6.37	5.35	5.27	5.81	7.14	8.41
17	5.46	4.38	3.62	4.26	5.45	6.52	6.37	5.34	5.22	5.85	7.16	8.38
18	5.41	4.40	3.52	4.30	5.57	6.53	6.34	5.35	5.19	5.89	7.22	8.34
19	5.39	4.42	3.45	4.33	5.63	6.54	6.32	5.41	5.17	5.89	7.25	8.29
20	5.39	4.39	3.37	4.29	5.70	6.54	6.33	5.46	5.15	5.91	7.29	8.24
21	5.38	4.39	3.30	4.35	5.76	6.55	6.33	5.50	5.13	5.95	7.33	8.19
22	5.36	4.34	3.29	4.34	5.82	6.54	6.33	5.50	5.14	5.97	7.37	8.13
23	5.30	4.28	3.31	4.35	5.86	6.54	6.33	5.48	5.15	6.01	7.45	8.09
24	5.22	4.25	3.37	4.47	5.92	6.54	6.32	5.48	5.19	6.12	7.52	8.05
25	5.14	4.21	3.47	4.50	5.96	6.55	6.29	5.50	5.20	6.24	7.60	7.99
26	5.09	4.15	3.51	4.55	6.01	6.55	6.25	5.49	5.19	6.28	7.65	7.94
27	5.01	4.08	3.46	4.58	6.06	6.55	6.22	5.51	5.19	6.28	7.72	7.89
28	4.87	3.99	3.38	4.62	6.10	6.55	6.16	5.53	5.21	6.32	7.78	7.84
29	4.80		3.28	4.66	6.13	6.54	6.10	5.55	5.27	6.45	7.85	7.82
30	4.70		3.19	4.72	6.15	6.54	6.05	5.56	5.34	6.50	7.93	7.75
31	4.61		3.14		6.16		5.97	5.56		6.55		7.70
PROMEDIO	5.71	4.15	3.54	4.03	5.48	6.43	6.35	5.52	5.32	5.90	7.15	8.20
MÁXIMO	7.05	4.52	3.88	4.72	6.16	6.55	6.54	5.90	5.57	6.55	7.93	8.51
MÍNIMO	4.61	3.72	3.14	3.15	4.76	6.17	5.97	5.34	5.13	5.41	6.57	7.70

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2006
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	7.66	5.51	3.61	4.86	5.92	7.14	7.81	6.26	5.55	5.90	6.25	7.23
2	7.61	5.35	3.56	4.88	5.96	7.18	7.80	6.23	5.55	5.88	6.31	7.25
3	7.56	5.29	3.51	4.88	6.00	7.23	7.79	6.20	5.53	5.85	6.33	7.27
4	7.49	5.30	3.50	4.89	6.05	7.26	7.77	6.14	5.54	5.85	6.39	7.29
5	7.44	5.29	3.48	4.90	6.11	7.32	7.74	6.09	5.55	5.83	6.42	7.31
6	7.39	5.27	3.41	4.89	6.16	7.39	7.72	6.04	5.57	5.80	6.44	7.31
7	7.34	5.28	3.38	4.91	6.20	7.45	7.70	5.99	5.62	5.79	6.46	7.33
8	7.29	5.29	3.29	4.92	6.24	7.47	7.68	5.93	5.62	5.76	6.50	7.34
9	7.24	5.29	3.27	4.92	6.29	7.49	7.63	5.89	5.62	5.74	6.51	7.34
10	7.16	5.28	3.34	5.04	6.34	7.51	7.60	5.88	5.62	5.70	6.54	7.34
11	7.13	5.23	3.45	5.08	6.38	7.53	7.57	5.83	5.64	5.65	6.59	7.36
12	7.07	5.18	3.68	5.11	6.44	7.55	7.51	5.79	5.66	5.65	6.63	7.38
13	7.01	5.13	3.81	5.15	6.49	7.56	7.44	5.75	5.68	5.60	6.65	7.40
14	6.95	5.07	3.91	5.21	6.54	7.60	7.38	5.67	5.68	5.55	6.67	7.43
15	6.90	4.97	3.98	5.25	6.57	7.61	7.32	5.60	5.70	5.54	6.71	7.45
16	6.84	4.83	4.03	5.34	6.60	7.62	7.27	5.55	5.72	5.56	6.75	7.46
17	6.78	4.73	4.05	5.37	6.67	7.63	7.18	5.56	5.74	5.58	6.79	7.46
18	6.72	4.71	4.05	5.41	6.70	7.64	7.12	5.44	5.77	5.70	6.83	7.46
19	6.64	4.60	4.03	5.45	6.74	7.66	7.06	5.43	5.81	5.76	6.86	7.46
20	6.56	4.50	4.04	5.48	6.76	7.68	6.99	5.43	5.83	5.81	6.89	7.46
21	6.51	4.36	4.10	5.51	6.80	7.71	6.96	5.39	5.85	5.84	6.93	7.46
22	6.44	4.30	4.20	5.55	6.84	7.72	6.89	5.39	5.86	5.86	6.97	7.46
23	6.36	4.18	4.25	5.60	6.88	7.74	6.82	5.41	5.89	5.91	7.00	7.44
24	6.27	4.06	4.26	5.63	6.92	7.75	6.75	5.42	5.90	5.92	7.02	7.44
25	6.17	3.93	4.29	5.67	6.94	7.76	6.69	5.40	5.91	5.94	7.06	7.44
26	6.07	3.83	4.38	5.69	6.97	7.76	6.61	5.36	5.92	5.97	7.09	7.45
27	5.98	3.74	4.49	5.75	7.01	7.77	6.52	5.36	5.92	6.02	7.12	7.45
28	5.88	3.66	4.59	5.76	7.04	7.79	6.45	5.39	5.92	6.05	7.16	7.39
29	5.79		4.64	5.81	7.06	7.81	6.38	5.51	5.94	6.10	7.18	7.37
30	5.71		4.76	5.86	7.09	7.82	6.32	5.52	5.94	6.15	7.21	7.35
31	5.61		4.81		7.13		6.29	5.54		6.18		7.33
PROMEDIO	6.76	4.79	3.94	5.29	6.57	7.57	7.18	5.69	5.73	5.82	6.74	7.38
MÁXIMO	7.66	5.51	4.81	5.86	7.13	7.82	7.81	6.26	5.94	6.18	7.21	7.46
MÍNIMO	5.61	3.66	3.27	4.86	5.92	7.14	6.29	5.36	5.53	5.54	6.25	7.23

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2007
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	7.29	4.73	2.19	3.89	5.72	7.13	8.11	7.00	7.08	7.28	7.67	8.77
2	7.27	4.68	2.11	3.98	5.76	7.17	8.11	6.98	7.12	7.27	7.71	8.75
3	7.23	4.59	2.06	4.09	5.82	7.21	8.09	6.94	7.14	7.26	7.76	8.71
4	7.18	4.50	1.99	4.17	5.86	7.24	8.06	6.89	7.16	7.26	7.80	8.66
5	7.13	4.41	1.89	4.24	5.93	7.26	8.06	6.85	7.20	7.26	7.84	8.62
6	7.08	4.18	1.85	4.32	5.98	7.31	8.04	6.80	7.24	7.25	7.88	8.59
7	7.02	4.03	1.84	4.40	6.02	7.33	8.00	6.77	7.28	7.23	7.94	8.55
8	6.94	3.91	1.84	4.49	6.07	7.35	7.97	6.74	7.30	7.23	7.98	8.51
9	6.88	3.79	1.82	4.57	6.13	7.39	7.95	6.73	7.32	7.23	8.05	8.47
10	6.78	3.62	1.89	4.67	6.16	7.43	7.92	6.71	7.34	7.22	8.12	8.43
11	6.70	3.44	2.01	4.78	6.21	7.48	7.88	6.71	7.35	7.22	8.16	8.37
12	6.60	3.30	2.14	4.89	6.26	7.52	7.83	6.73	7.36	7.20	8.21	8.32
13	6.50	3.20	2.29	4.96	6.31	7.56	7.78	6.73	7.37	7.23	8.26	8.26
14	6.41	3.11	2.42	5.02	6.36	7.58	7.73	6.75	7.37	7.25	8.31	8.22
15	6.32	3.08	2.50	5.10	6.39	7.63	7.67	6.76	7.39	7.25	8.37	8.17
16	6.16	3.05	2.53	5.09	6.45	7.67	7.61	6.75	7.40	7.22	8.42	8.12
17	6.04	2.98	2.51	5.02	6.46	7.73	7.54	6.76	7.40	7.23	8.48	8.07
18	5.95	2.91	2.37	5.03	6.51	7.79	7.49	6.76	7.40	7.25	8.55	8.02
19	5.87	2.91	2.40	5.04	6.54	7.82	7.41	6.76	7.39	7.27	8.58	7.98
20	5.69	2.92	2.46	5.09	6.62	7.85	7.34	6.77	7.40	7.29	8.63	7.94
21	5.60	2.89	2.54	5.10	6.66	7.89	7.29	6.79	7.40	7.34	8.67	7.89
22	5.43	2.83	2.54	5.12	6.71	7.93	7.25	6.81	7.38	7.36	8.73	7.84
23	5.44	2.81	2.75	5.19	6.77	7.97	7.23	6.83	7.36	7.40	8.75	7.79
24	5.22	2.79	2.84	5.28	6.79	7.99	7.18	6.85	7.35	7.43	8.79	7.74
25	5.22	2.69	2.91	5.37	6.82	8.01	7.15	6.87	7.35	7.44	8.81	7.71
26	5.13	2.54	2.96	5.45	6.85	8.03	7.11	6.92	7.35	7.47	8.84	7.67
27	5.01	2.45	3.03	5.51	6.90	8.06	7.10	6.94	7.35	7.50	8.84	7.62
28	4.92	2.33	3.15	5.56	6.94	8.07	7.08	6.96	7.32	7.54	8.83	7.58
29	4.88		3.32	5.62	6.97	8.06	7.05	6.98	7.31	7.57	8.83	7.54
30	4.86		3.52	5.67	7.07	8.10	7.02	7.01	7.31	7.60	8.81	7.49
31	4.75		3.76		7.15		7.00	7.05		7.64		7.47
PROMEDIO	6.11	3.38	2.46	4.89	6.42	7.65	7.58	6.83	7.31	7.33	8.35	8.12
MÁXIMO	7.29	4.73	3.76	5.67	7.15	8.10	8.11	7.05	7.40	7.64	8.84	8.77
MÍNIMO	4.75	2.33	1.82	3.89	5.72	7.13	7.00	6.71	7.08	7.20	7.67	7.47

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2008
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	7.42	5.55	4.87	4.67	5.52	6.64	7.56	7.97	7.86	8.01	8.10	8.73
2	7.39	5.48	4.86	4.68	5.51	6.68	7.56	7.98	7.87	7.99	8.12	8.77
3	7.34	5.43	4.86	4.72	5.57	6.71	7.58	7.98	7.88	7.98	8.14	8.8
4	7.30	5.31	4.75	4.83	5.70	6.74	7.60	7.98	7.88	7.97	8.19	8.84
5	7.27	5.17	4.72	4.87	5.75	6.77	7.62	7.98	7.89	7.96	8.21	8.87
6	7.22	5.08	4.69	4.84	5.80	6.81	7.64	7.99	7.91	7.96	8.24	8.88
7	7.13	4.98	4.66	4.79	5.87	6.84	7.65	7.99	7.94	7.95	8.27	8.89
8	7.09	4.88	4.66	4.75	5.92	6.89	7.66	7.97	7.95	7.94	8.31	8.91
9	7.09	4.77	4.66	4.72	5.97	6.94	7.65	7.97	7.95	7.93	8.34	8.93
10	7.04	4.66	4.69	4.70	6.01	6.98	7.68	7.97	7.95	7.93	8.36	8.95
11	6.99	4.56	4.68	4.71	6.04	7.03	7.69	7.97	7.96	7.93	8.39	8.95
12	6.88	4.52	4.64	4.74	6.06	7.06	7.70	7.95	7.97	7.93	8.40	8.97
13	6.77	4.51	4.61	4.76	6.09	7.09	7.72	7.94	7.99	7.94	8.42	8.97
14	6.72	4.47	4.64	4.80	6.10	7.14	7.74	7.93	8.00	7.94	8.45	8.97
15	6.67	4.43	4.70	4.88	6.10	7.19	7.76	7.92	8.00	7.93	8.49	8.95
16	6.62	4.39	4.74	4.97	6.10	7.22	7.79	7.91	8.01	7.92	8.51	8.95
17	6.57	4.34	4.80	5.01	6.11	7.25	7.80	7.89	8.04	7.92	8.53	8.98
18	6.53	4.28	4.88	5.05	6.11	7.29	7.82	7.88	8.05	7.91	8.56	8.97
19	6.52	4.30	4.89	5.04	6.13	7.33	7.84	7.88	8.09	7.91	8.57	8.96
20	6.46	4.38	4.90	5.04	6.19	7.36	7.86	7.88	8.10	7.90	8.58	8.93
21	6.45	4.47	4.88	5.03	6.23	7.37	7.88	7.89	8.10	7.91	8.60	8.89
22	6.38	4.56	4.87	5.03	6.26	7.39	7.89	7.88	8.10	7.92	8.61	8.85
23	6.30	4.67	4.85	5.03	6.29	7.41	7.90	7.87	8.10	7.93	8.61	8.82
24	6.22	4.77	4.80	5.06	6.33	7.44	7.91	7.86	8.08	7.93	8.62	8.75
25	6.12	4.81	4.82	5.11	6.37	7.46	7.90	7.85	8.06	7.96	8.62	8.70
26	6.02	4.82	4.77	5.15	6.40	7.49	7.91	7.85	8.05	7.99	8.64	8.64
27	5.92	4.85	4.73	5.22	6.45	7.51	7.92	7.85	8.05	8.02	8.65	8.58
28	5.83	4.90	4.69	5.32	6.51	7.52	7.93	7.85	8.04	8.04	8.66	8.52
29	5.75	4.91	4.65	5.40	6.55	7.53	7.94	7.85	8.03	8.05	8.67	8.45
30	5.67		4.63	5.46	6.58	7.53	7.95	7.85	8.03	8.06	8.69	8.38
31	5.61		4.68		6.61		7.96	7.85		8.08		8.82
PROMEDIO	6.62	4.76	4.75	4.94	6.10	7.15	7.77	7.92	8.00	7.96	8.45	8.82
MÁXIMO	7.42	5.55	4.90	5.46	6.61	7.53	7.96	7.99	8.10	8.08	8.69	8.98
MÍNIMO	5.61	4.28	4.61	4.67	5.51	6.64	7.56	7.85	7.86	7.90	8.10	8.38

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2009
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	8.31	6.21	5.08	5.33	5.81	6.20	6.29	5.17	5.41	4.80	5.10	5.85
2	8.24	6.14	5.05	5.36	5.82	6.16	6.29	5.14	5.41	4.70	5.11	5.86
3	8.17	6.09	5.01	5.39	5.86	6.11	6.29	5.11	5.41	4.57	5.13	5.82
4	8.10	6.04	4.97	5.45	5.91	6.06	6.29	5.04	5.39	4.52	5.16	5.77
5	8.04	5.99	4.95	5.51	5.96	5.99	6.28	4.91	5.35	4.35	5.22	5.72
6	7.95	5.94	4.95	5.55	5.98	5.94	6.25	4.87	5.33	4.37	5.30	5.64
7	7.87	5.89	4.95	5.58	6.01	5.88	6.25	4.81	5.32	4.47	5.39	5.57
8	7.79	5.84	4.92	5.59	6.06	5.87	6.23	4.79	5.29	4.51	5.45	5.42
9	7.72	5.79	4.90	5.60	6.08	5.89	6.23	4.83	5.26	4.47	5.55	5.31
10	7.65	5.74	4.88	5.60	6.09	5.94	6.20	4.92	5.20	4.41	5.66	5.24
11	7.58	5.68	4.85	5.61	6.10	5.95	6.18	4.97	5.14	4.34	5.74	5.14
12	7.49	5.63	4.84	5.63	6.12	5.94	6.15	5.01	5.10	4.25	5.77	4.98
13	7.43	5.58	4.85	5.65	6.14	5.97	6.14	5.05	5.08	4.18	5.81	4.85
14	7.35	5.54	4.84	5.68	6.15	6.03	6.10	5.05	5.05	4.28	5.87	4.70
15	7.28	5.49	4.78	5.71	6.17	6.04	6.07	5.03	5.04	4.36	5.92	4.55
16	7.20	5.45	4.70	5.73	6.20	6.09	6.02	5.04	5.06	4.47	5.97	4.43
17	7.12	5.42	4.64	5.74	6.20	6.13	5.97	5.06	5.10	4.59	6.02	4.31
18	7.04	5.40	4.60	5.75	6.24	6.16	5.92	5.11	5.12	4.71	6.05	4.17
19	6.96	5.37	4.58	5.77	6.25	6.17	5.86	5.16	5.16	4.76	6.08	4.02
20	6.88	5.34	4.60	5.79	6.26	6.19	5.78	5.18	5.20	4.81	6.10	3.89
21	6.80	5.30	4.67	5.81	6.29	6.20	5.70	5.20	5.20	4.85	6.11	3.77
22	6.73	5.25	4.73	5.79	6.30	6.24	5.64	5.24	5.17	4.86	6.10	3.72
23	6.67	5.22	4.78	5.80	6.31	6.25	5.59	5.28	5.15	4.91	6.08	3.76
24	6.61	5.18	4.85	5.82	6.31	6.26	5.59	5.33	5.12	4.96	6.07	3.86
25	6.56	5.15	4.96	5.83	6.30	6.28	5.56	5.41	5.12	4.99	6.06	3.98
26	6.50	5.12	5.07	5.84	6.29	6.30	5.53	5.47	5.12	5.01	6.05	4.10
27	6.45	5.11	5.12	5.85	6.29	6.33	5.49	5.50	5.09	5.03	6.04	4.16
28	6.40	5.11	5.16	5.84	6.27	6.33	5.43	5.51	5.05	5.05	6.01	4.19
29	6.36		5.21	5.84	6.27	6.33	5.36	5.49	4.98	5.05	5.98	4.25
30	6.32		5.25	5.82	6.24	6.33	5.28	5.46	4.91	5.04	5.94	4.29
31	6.27		5.29		6.22		5.22	5.43		5.06		4.26
PROMEDIO	7.22	5.57	4.90	5.67	6.14	6.12	5.91	5.15	5.18	4.67	5.76	4.69
MÁXIMO	8.31	6.21	5.29	5.85	6.31	6.33	6.29	5.51	5.41	5.06	6.11	5.86
MÍNIMO	6.27	5.11	4.58	5.33	5.81	5.87	5.22	4.79	4.91	4.18	5.10	3.72

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2010
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	4.24	1.73	1.83	2.37	4.33	6.01	7.01	7.99	8.44	8.66	8.84	9.21
2	4.20	1.70	1.95	2.46	4.40	6.04	7.05	8.02	8.42	8.67	8.84	9.13
3	4.12	1.70	2.09	2.54	4.48	6.07	7.08	8.05	8.40	8.70	8.84	9.12
4	3.99	1.70	2.14	2.62	4.56	6.11	7.11	8.10	8.39	8.75	8.84	9.15
5	3.84	1.68	2.09	2.68	4.63	6.15	7.14	8.13	8.38	8.77	8.84	9.13
6	3.66	1.62	2.03	2.72	4.73	6.19	7.17	8.16	8.39	8.81	8.82	9.13
7	3.46	1.58	2.05	2.77	4.85	6.22	7.20	8.20	8.40	8.85	8.81	9.14
8	3.26	1.57	2.12	2.88	4.97	6.25	7.24	8.24	8.41	8.89	8.79	9.12
9	3.07	1.52	2.20	2.98	5.04	6.27	7.26	8.30	8.41	8.89	8.72	9.11
10	2.87	1.44	2.38	3.06	5.13	6.31	7.29	8.35	8.41	8.90	8.72	9.12
11	2.74	1.40	2.52	3.14	5.20	6.35	7.32	8.40	8.41	8.90	8.78	9.08
12	2.62	1.38	2.51	3.29	5.26	6.39	7.34	8.45	8.41	8.91	8.79	9.17
13	2.52	1.40	2.57	3.45	5.32	6.44	7.36	8.49	8.41	8.93	8.79	9.15
14	2.48	1.42	2.59	3.58	5.37	6.46	7.39	8.51	8.41	8.95	8.81	9.17
15	2.40	1.46	2.62	3.73	5.52	6.48	7.42	8.55	8.40	8.96	8.82	9.23
16	2.26	1.48	2.65	3.90	5.51	6.50	7.48	8.56	8.39	8.97	8.82	9.21
17	2.16	1.49	2.65	4.02	5.50	6.52	7.49	8.57	8.39	8.98	8.82	9.14
18	2.08	1.54	2.59	4.09	5.54	6.56	7.51	8.57	8.40	8.99	8.82	9.11
19	2.09	1.54	2.53	4.13	5.55	6.60	7.55	8.57	8.41	9.01	8.84	9.09
20	1.96	1.48	2.52	4.19	5.51	6.67	7.57	8.56	8.43	9.01	8.86	9.06
21	1.94	1.45	2.56	4.21	5.54	6.72	7.60	8.55	8.44	9.00	8.91	9.02
22	1.87	1.45	2.63	4.25	5.62	6.76	7.63	8.55	8.46	9.00	8.95	8.97
23	1.83	1.45	2.74	4.28	5.66	6.79	7.66	8.55	8.48	9.00	8.99	8.91
24	1.80	1.43	2.87	4.34	5.70	6.81	7.69	8.55	8.51	8.98	9.03	8.87
25	1.75	1.46	2.95	4.36	5.72	6.86	7.73	8.55	8.54	8.96	9.09	8.86
26	1.70	1.51	2.92	4.34	5.76	6.89	7.75	8.53	8.56	8.94	9.15	8.81
27	1.69	1.60	2.88	4.32	5.79	6.91	7.78	8.52	8.60	8.92	9.18	8.80
28	1.66	1.69	2.74	4.30	5.83	6.95	7.80	8.50	8.62	8.90	9.23	8.77
29	1.65		2.56	4.30	5.87	6.97	7.83	8.49	8.63	8.88	9.29	8.74
30	1.71		2.38	4.30	5.93	6.98	7.87	8.48	8.64	8.86	9.30	8.73
31	1.73		2.35		5.98		7.92	8.46		8.85		8.75
PROMEDIO	2.56	1.53	2.46	3.58	5.31	6.50	7.46	8.40	8.45	8.89	8.91	9.03
MÁXIMO	4.24	1.73	2.95	4.36	5.98	6.98	7.92	8.57	8.64	9.01	9.30	9.23
MÍNIMO	1.65	1.38	1.83	2.37	4.33	6.01	7.01	7.99	8.38	8.66	8.72	8.73

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2011
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	8.69	6.20	4.51	5.34	6.95	8.50	7.97	7.30	6.65	6.27	7.45	8.19
2	8.63	6.07	4.48	5.36	7.07	8.56	7.94	7.29	6.65	6.25	7.49	8.25
3	8.58	5.99	4.49	5.39	7.09	8.60	7.92	7.27	6.61	6.25	7.52	8.34
4	8.51	5.86	4.52	5.40	7.18	8.61	7.91	7.26	6.61	6.25	7.54	8.40
5	8.46	5.72	4.60	5.41	7.26	8.61	7.90	7.23	6.61	6.25	7.54	8.44
6	8.41	5.56	4.70	5.43	7.34	8.59	7.88	7.20	6.58	6.24	7.54	8.48
7	8.34	5.41	4.76	5.46	7.44	8.58	7.87	7.19	6.54	6.25	7.55	8.53
8	8.31	5.25	4.82	5.49	7.54	8.58	7.86	7.18	6.52	6.27	7.56	8.56
9	8.23	5.05	4.87	5.53	7.64	8.59	7.82	7.16	6.53	6.29	7.58	8.60
10	8.18	4.94	4.87	5.55	7.76	8.61	7.79	7.14	6.51	6.30	7.59	8.65
11	8.10	4.86	4.87	5.61	7.92	8.61	7.75	7.13	6.49	6.31	7.59	8.68
12	8.02	4.84	4.91	5.65	8.02	8.60	7.72	7.09	6.45	6.39	7.61	8.73
13	7.92	4.87	4.95	5.72	8.12	8.58	7.69	7.10	6.40	6.41	7.63	8.77
14	7.86	4.82	4.99	5.76	8.20	8.56	7.65	7.08	6.36	6.43	7.64	8.79
15	7.79	4.76	5.03	5.81	8.28	8.54	7.62	7.05	6.33	6.47	7.64	8.84
16	7.71	4.73	5.04	5.86	8.33	8.53	7.59	7.05	6.30	6.56	7.66	8.89
17	7.63	4.62	5.05	5.92	8.37	8.51	7.55	7.01	6.28	6.62	7.68	8.92
18	7.55	4.70	5.06	5.98	8.38	8.48	7.51	6.97	6.27	6.71	7.68	8.95
19	7.52	4.72	5.08	6.05	8.39	8.46	7.46	6.96	6.32	6.76	7.69	8.97
20	7.43	4.72	5.11	6.13	8.40	8.45	7.49	6.89	6.33	6.82	7.71	8.97
21	7.40	4.74	5.11	6.20	8.40	8.43	7.46	6.84	6.33	6.89	7.73	8.97
22	7.33	4.77	5.12	6.26	8.38	8.39	7.43	6.80	6.35	6.93	7.77	8.96
23	7.26	4.77	5.14	6.35	8.36	8.34	7.40	6.77	6.33	6.97	7.80	8.95
24	7.22	4.74	5.19	6.43	8.35	8.28	7.37	6.76	6.33	7.03	7.82	8.94
25	7.15	4.67	5.21	6.51	8.34	8.25	7.33	6.74	6.33	7.07	7.86	8.93
26	7.03	4.62	5.21	6.59	8.37	8.23	7.30	6.73	6.32	7.13	7.90	8.91
27	6.93	4.57	5.25	6.67	8.41	8.17	7.27	6.70	6.31	7.18	7.93	8.90
28	6.80	4.54	5.28	6.75	8.43	8.12	7.27	6.69	6.31	7.24	7.97	8.91
29	6.69		5.30	6.82	8.47	8.07	7.26	6.69	6.31	7.31	8.04	8.92
30	6.56		5.32	6.89	8.48	8.03	7.28	6.67	6.29	7.37	8.13	8.90
31	6.38		5.32		8.48		7.32	6.65		7.43		8.88
PROMEDIO	7.69	5.04	4.97	5.94	8.00	8.45	7.60	6.98	6.42	6.66	7.69	8.74
MÁXIMO	8.69	6.20	5.32	6.89	8.48	8.61	7.97	7.30	6.65	7.43	8.13	8.97
MÍNIMO	6.38	4.54	4.48	5.34	6.95	8.03	7.26	6.65	6.27	6.24	7.45	8.19

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2012
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	8.86	6.08	4.03	4.11	6.02							
2	8.82	5.99	3.97	4.15	6.09							
3	8.77	5.89	3.89	4.20	6.15							
4	8.73	5.82	3.80	4.23	6.19							
5	8.68	5.76	3.75	4.25	6.24							
6	8.59	5.70	3.69	4.29	6.30							
7	8.52	5.63	3.64	4.34	6.35							
8	8.43	5.56	3.59	4.39								
9	8.35	5.50	3.54	4.45								
10	8.26	5.45	3.51	4.54								
11	8.18	5.42	3.50	4.64								
12	8.09	5.39	3.49	4.74								
13	7.99	5.36	3.49	4.82								
14	7.89	5.31	3.46	4.87								
15	7.79	5.27	3.45	4.93								
16	7.71	5.22	3.44	5.01								
17	7.61	5.17	3.42	5.07								
18	7.51	5.11	3.42	5.11								
19	7.40	5.07	3.45	5.15								
20	7.29	4.98	3.45	5.23								
21	7.19	4.90	3.47	5.32								
22	7.09	4.82	3.51	5.39								
23	6.99	4.71	3.54	5.44								
24	6.87	4.63	3.58	5.51								
25	6.77	4.54	3.64	5.57								
26	6.67	4.46	3.72	5.64								
27	6.56	4.36	3.83	5.73								
28	6.44	4.24	3.90	5.81								
29	6.35	4.12	3.96	5.88								
30	6.26		4.01	5.95								
31	6.17		4.06									
PROMEDIO	7.64	5.19	3.65	4.96	6.19							
MÁXIMO	8.86	6.08	4.06	5.95	6.35							
MÍNIMO	6.17	4.12	3.42	4.11	6.02							

Estación Calamar Caudales Medios Diarios (2001-2012)

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2001
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	7031	4008	2670	4176	3430	5441	5130	5024	3804	5673	7132	8514
2	6966	3804	2696	4117	3402	5548	5038	5024	3814	5743	7197	8514
3	6902	3631	2732	4054	3412	5650	4967	5024	3814	5806	7274	8546
4	6820	3487	2784	4003	3416	5728	4967	5024	3713	5888	7340	8578
5	6695	3360	2800	3934	3444	5806	4953	5038	3745	5880	7398	8578
6	6545	3261	2768	3863	3536	5872	4869	5024	3830	5839	7455	8557
7	6388	3171	2735	3761	3677	5945	4788	5003	3923	5839	7512	8557
8	6252	3100	2768	3651	3809	6010	4727	4967	3963	5839	7550	8536
9	6051	3089	2898	3546	3940	6059	4687	4953	4100	5839	7574	8546
10	5888	3096	3117	3491	4100	6083	4667	4883	4170	5855	7594	8589
11	5720	3092	3244	3477	4322	6100	4673	4829	4201	5937	7596	8536
12	5540	3053	3305	3467	4530	6100	4707	4748	4243	5969	7608	8546
13	5336	2983	3337	3467	4687	6092	4795	4556	4267	6026	7608	8578
14	5166	2862	3393	3487	4822	6067	4903	4396	4328	6051	7608	8599
15	5010	2761	3393	3576	4849	6075	4953	4243	4460	6051	7608	8578
16	4883	2690	3342	3656	4883	6092	4953	4082	4575	6059	7613	8546
17	4647	2649	3270	3707	4889	6067	4953	3991	4673	6075	7637	8504
18	4492	2623	3205	3718	4924	6059	4932	3900	4829	6067	7674	8461
19	4340	2602	3158	3772	4995	6026	4903	3836	4946	6133	7745	8451
20	4231	2602	3137	3825	5045	5977	4869	3777	5038	6252	7798	8514
21	4207	2605	3145	3889	5074	5937	4815	3750	5095	6380	7851	8536
22	4231	2620	3205	3934	5095	5937	4781	3697	5109	6439	7905	8525
23	4249	2617	3319	3980	5102	5929	4815	3656	5188	6545	7958	8493
24	4261	2597	3449	3980	5130	5896	4829	3636	5247	6624	8047	8483
25	4334	2602	3606	3934	5166	5855	4876	3651	5284	6686	8100	8536
26	4402	2629	3820	3841	5166	5774	4924	3713	5359	6775	8224	8536
27	4434	2643	3986	3734	5187	5696	4988	3734	5411	6838	8277	8536
28	4440	2652	4060	3666	5232	5618	5017	3745	5448	6902	8331	8546
29	4396		4134	3616	5262	5456	5038	3723	5517	6985	8377	8567
30	4346		4219	3516	5314	5277	5038	3713	5579	7022	8430	8536
31	4213		4237		5389		5024	3745		7077		8536
PROMEDIO	5239.23	2960.32	3288.13	3761.27	4555.77	5872.40	4889.65	4293.06	4589.10	6228.84	7734.03	8537.35
MÁXIMO	7031.00	4008.00	4237.00	4176.00	5389.00	6100.00	5130.00	5038.00	5579.00	7077.00	8430.00	8599.00
MÍNIMO	4207.00	2597.00	2670.00	3467.00	3402.00	5277.00	4667.00	3636.00	3713.00	5673.00	7132.00	8451.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2002
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	8536	4176	2787	3788	5888	6320	8089	5381	4447	5003	6235	7600
2	8536	4037	2787	3852	5994	6380	8038	5269	4517	5195	6414	7512
3	8536	3940	2774	3863	6075	6465	7997	5188	4641	5284	6598	7369
4	8504	3841	2729	3836	6193	6598	7897	5109	4815	5262	6757	7254
5	8461	3723	2684	3825	6244	6748	7798	5066	4822	5284	6847	7141
6	8366	3661	2661	3825	6295	6911	7689	4903	4869	5210	6966	6985
7	8243	3691	2599	3825	6320	6957	7619	4856	4917	5145	7077	6847
8	8130	3713	2551	3825	6320	7031	7503	4768	4918	5088	7197	6686
9	7977	3691	2533	3841	6303	7141	7426	4660	4754	4981	7264	6500
10	7808	3666	2536	3929	6235	7283	7398	4466	4700	4939	7512	6363
11	7659	3596	2554	4071	6184	7340	7331	4358	4626	4910	7639	6269
12	7493	3472	2554	4189	6116	7436	7235	4370	4581	4856	7738	6193
13	7340	3374	2543	4322	6059	7503	7141	4402	4536	4808	7817	5904
14	7197	3291	2500	4447	6002	7580	7031	4364	4485	4788	7857	5790
15	7022	3240	2495	4549	5855	7679	6874	4334	4428	4883	7936	5704
16	6775	3184	2508	4607	5751	7798	6739	4273	4402	4856	8007	5426
17	6580	3116	2548	4687	5642	7897	6589	4182	4352	4842	8038	5344
18	6380	3061	2620	4707	5540	7977	6448	4129	4297	4788	8059	5351
19	6244	3017	2673	4721	5501	8048	6278	4014	4297	4768	8059	5471
20	6117	2945	2771	4734	5411	8089	6133	3895	4297	4822	8079	5626
21	5961	2884	2887	4761	5404	8171	6002	3879	4291	4849	8079	5728
22	5783	2826	2938	4829	5533	8233	5953	3884	4249	4849	8069	5994
23	5618	2840	3045	4876	5681	8264	5953	3923	4291	5024	8079	6125
24	5419	2862	3214	4946	5743	8284	5945	3797	4492	5074	8069	6184
25	5344	2858	3360	5059	5839	8284	5896	4225	4640	5116	8007	6167
26	5088	2833	3516	5181	6002	8284	5855	4334	4734	5166	7997	6100
27	4924	2807	3621	5389	6010	8274	5814	4428	4754	5269	7966	6043
28	4788	2787	3636	5540	6035	8233	5743	4390	4775	5426	7897	5986
29	4640		3641	5712	6067	8171	5673	4225	4775	5541	7798	5888
30	4460		3686	5806	6142	8120	5626	4237	4835	5839	7699	5839
31	4310		3745		6218		5556	4340		6043		5595
PROMEDIO	6717.39	3326.14	2893.42	4518.07	5954.90	7583.30	6750.61	4440.29	4584.57	5093.81	7591.87	6225.29
MÁXIMO	8536.00	4176.00	3745.00	5806.00	6320.00	8284.00	8089.00	5381.00	4918.00	6043.00	8079.00	7600.00
MÍNIMO	4310.00	2787.00	2495.00	3788.00	5404.00	6320.00	5556.00	3797.00	4249.00	4768.00	6235.00	5344.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2003
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	5404	2569	2451	2887	5720	6303	7977	7040	6527	6704	9097	10847
2	5225	2591	2466	2923	5790	6346	7977	7022	6474	6766	9262	10860
3	5074	2591	2490	3021	5798	6380	7946	7058	6439	6828	9341	10909
4	4953	2582	2528	3154	5814	6431	7916	7095	6371	6930	9420	10958
5	4768	2548	2583	3205	5774	6474	7916	7132	6252	6985	9454	11008
6	4568	2523	2635	3162	5720	6562	7936	7197	6142	7040	9499	11082
7	4334	2495	2658	3077	5696	6651	7907	7274	6002	7104	9578	11119
8	4129	2457	2690	2967	5689	6739	7877	7331	5920	7141	9624	11144
9	3929	2429	2678	2891	5673	6819	7857	7331	5855	7302	9669	11144
10	3820	2409	2626	2851	5689	6847	7857	7331	5896	7426	9715	11144
11	3656		2569	2826	5642	6847	7887	7302	5790	7503	9808	11157
12	3581		2518	2833	5642	6874	8048	7274	5823	7580	9890	11221
13	3477		2468	2887	5774	6902	7936	7245	5912	7679	9901	11246
14	3388	2482	2433	2979	5839	6930	7956	7169	5961	7768	9971	11271
15	3310	2510	2402	3089	5937	6985	7956	7068	5969	7837	10041	11271
16	3163	2556	2359	3261	6002	7040	7956	6985	5937	7936	10088	11297
17	3025	2588	2382	3465	5986	7104	7946	6930	6067	8028	10123	11284
18	2945	2582	2433	3788	5994	7293	7907	6865	6059	8079	10146	11271
19	2923	2594	2543	4020	6018	7436	7877	6792	6035	8182	10182	11271
20	2920	2611	2638	4213	6035	7465	7877	6722	6043	8294	10230	11297
21	2979	2643	2807	4536	6051	7522	7857	6686	6067	8346	10302	11297
22	2884	2703	2948	4646	6150	7669	7738	6615	6092	8419	10350	11322
23	2830	2742	3045	4748	6235	7728	7619	6527	6133	8483	10409	11297
24	2858	2719	3124	4856	6235	7768	7455	6465	6150	8546	10469	11271
25	2884	2649	3141	5003	6244	7817	7302	6518	6176	8652	10517	11246
26	2873	2586	3049	5174	6210	7877	7123	6562	6269	8684	10565	11208
27	2807	2515	2963	5344	6244	7887	7068	6562	6329	8716	10625	11157
28	2729	2464	2923	5463	6269	7926	7068	6536	6371	8834	10662	11082
29	2670		2909	5548	6286	7956	7086	6518	6474	8921	10724	11008
30	2632		2880	5618	6286	7977	7141	6518	6660	9020	10810	10958
31	2599		2866		6286		7114	6545		9086		10884
PROMEDIO	3527.00	2565.52	2684.03	3814.50	5958.97	7151.83	7712.35	6910.16	6139.83	7897.39	10015.73	11146.16
MÁXIMO	5404.00	2742.00	3141.00	5618.00	6286.00	7977.00	8048.00	7331.00	6660.00	9086.00	10810.00	11322.00
MÍNIMO	2599.00	2409.00	2359.00	2826.00	5642.00	6303.00	7068.00	6465.00	5790.00	6704.00	9097.00	10847.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2004
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	10773	5411	3240	2824	5166	7245	6598	6527	5366	7245	9140	11310
2	10674	5240	3257	2923	5210	7312	6500	6527	5404	7283	9151	11373
3	10553	5052	3270	2982	5210	7407	6422	6509	5426	7359	9206	11398
4	10421	4856	3319	3010	5232	7436	6312	6474	5448	7407	9239	11424
5	10290	4673	3328	2941	5299	7493	6193	6439	5456	7407	9318	11449
6	10147	4479	3310	2912	5389	7550	6125	6422	5404	7417	9341	11475
7	9960	4334	3236	2971	5478	7580	6075	6431	5433	7455	9465	11500
8	9773	4182	3150	3069	5564	7619	6026	6491	5441	7484	9567	11500
9	9567	4048	3104	3108	5611	7738	5961	6562	5501	7570	9669	11500
10	9364	3907	3108	3089	5665	7827	5929	6589	5595	7629	9808	11475
11	9184	3761	3128	3073	5743	7907	5904	6624	5634	7709	9925	11462
12	9097	3626	3124	3029	5831	7946	5904	6527	5751	7798	9995	11424
13	8976	3516	3112	3017	5855	7977	5920	6337	5929	7817	10030	11398
14	8823	3412	3089	3061	5880	7977	5920	6303	6117	7926	10053	11398
15	8673	3356	3021	3124	5888	7946	5945	6150	6320	7956	10146	11373
16	8514	3360	2934	3171	5888	7916	5986	6002	6483	7987	10182	11348
17	8346	3384	2838	3283	5912	7877	5994	5896	6571	8079	10254	11335
18	8151	3374	2758	3412	5961	7778	6043	5696	6677	8171	10326	11259
19	7957	3319	2706	3586	6018	7709	6142	5478	6748	8202	10397	11208
20	7768	3236	2667	3820	6092	7659	6167	5478	6783	8223	10469	11132
21	7522	3104	2667	4008	6142	7639	6184	5448	6911	8253	10541	10983
22	7274	3033	2661	4164	6193	7570	6210	5396	6948	8325	10637	10934
23	7022	2990	2626	4273	6312	7531	6244	5359	6994	8451	10687	10934
24	6829	2970	2574	4389	6439	7484	6312	5359	7022	8536	10786	10847
25	6668	2982	2554	4511	6598	7407	6363	5374	7077	8610	10847	10736
26	6527	3033	2546	4680	6686	7293	6414	5351	7123	8673	10971	10637
27	6422	3069	2541	4822	6828	7188	6431	5299	7123	8726	11057	10589
28	6252	3104	2594	4917	6911	7040	6414	5255	7123	8823	11132	10433
29	6043	3175	2611	5010	7031	6930	6456	5255	7123	8878	11221	10314
30	5847		2632	5081	7132	6748	6465	5284	7207	8998	11259	10146
31	5595		2676		7188		6500	5344		9064		9995
PROMEDIO	8355.23	3723.66	2915.52	3608.67	6011.35	7557.63	6195.45	5941.48	6271.27	8047.13	10160.63	11106.10
MÁXIMO	10773.00	5411.00	3328.00	5081.00	7188.00	7977.00	6598.00	6624.00	7207.00	9064.00	11259.00	11500.00
MÍNIMO	5595.00	2970.00	2541.00	2824.00	5166.00	6748.00	5904.00	5255.00	5366.00	7245.00	9140.00	9995.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2005
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	9797	5059	4225	3440	5411	7907	8642	7369	6748	6465	8726	12149
2	9612	4862	4065	3486	5471	7946	8663	7197	6695	6589	8823	12310
3	9409	4721	3946	3536	5572	7977	8663	7049	6651	6660	8900	12484
4	9173	4607	3847	3601	5634	8007	8652	6957	6606	6792	8998	12713
5	8921	4556	3793	3676	5657	8069	8620	6874	6580	6884	9075	12878
6	8620	4498	3809	3788	5728	8120	8589	6810	6562	6884	9108	13015
7	8325	4415	3889	3934	5806	8141	8546	6792	6562	6911	9173	13153
8	8059	4346	3957	4025	5888	8171	8493	6704	6553	6985	9239	13321
9	7778	4231	4014	4037	5986	8264	8472	6615	6518	7058	9307	13463
10	7532	4111	4077	4054	6116	8325	8451	6536	6474	7226	9386	13535
11	7312	4043	4100	4129	6218	8346	8419	6491	6456	7254	9488	13549
12	7150	4037	4122	4243	6295	8430	8366	6491	6431	7274	9567	13549
13	7022	4159	4088	4328	6346	8451	8335	6491	6397	7312	9703	13535
14	6874	4353	4060	4428	6380	8483	8274	6474	6329	7398	9820	13477
15	6757	4536	4048	4524	6414	8525	8253	6414	6278	7465	9925	13392
16	6651	4721	3991	4607	6465	8567	8305	6371	6244	7493	9995	13264
17	6553	4829	3923	4707	6545	8610	8294	6354	6142	7550	10053	13166
18	6465	4889	3814	4768	6748	8642	8233	6371	6100	7580	10182	13070
19	6439	4924	3729	4795	6865	8663	8202	6474	6035	7610	10254	12933
20	6439	4883	3656	4815	6985	8663	8202	6562	6026	7659	10362	12795
21	6422	4876	3581	4829	7104	8673	8223	6633	6002	7768	10445	12645
22	6388	4808	3571	4815	7207	8663	8223	6624	6018	7808	10577	12484
23	6278	4727	3596	4829	7235	8663	8212	6598	6026	7887	10749	12377
24	6142	4687	3656	4924	7407	8663	8171	6589	6092	7956	10921	12270
25	6018	4640	3756	5038	7484	8673	8130	6624	6116	8038	11107	12123
26	5929	4568	3804	5109	7580	8673	8048	6606	6100	8120	11246	11992
27	5799	4472	3750	5145	7679	8684	7987	6642	6100	8110	11424	11862
28	5587	4358	3651	5210	7748	8684	7877	6677	6133	8366	11564	11731
29	5479		3566	5269	7808	8663	7758	6713	6227	8472	11744	11602
30	5322		3477	5359	7857	8663	7649	6739	6337	8578	11953	11487
31	5188		3430		7877		7503	6739		8673		11373
PROMEDIO	7078.71	4568.43	3838.42	4448.27	6629.55	8433.63	8272.74	6663.87	6317.93	7510.48	10060.47	12699.90
MÁXIMO	9797.00	5059.00	4225.00	5359.00	7877.00	8684.00	8663.00	7369.00	6748.00	8673.00	11953.00	13549.00
MÍNIMO	5188.00	4037.00	3430.00	3440.00	5411.00	7907.00	7503.00	6354.00	6002.00	6465.00	8726.00	11373.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2006
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	11271	6651	3911	5564	7398	9995	11653	8069	6722	7359	8059	10218
2	11170	6500	3857	5603	7484	10099	11627	8007	6713	7321	8171	10254
3	11008	6388	3804	5603	7550	10206	11589	7956	6686	7274	8223	10314
4	10847	6312	3793	5611	7649	10278	11538	7837	6695	7264	8335	10350
5	10724	6235	3782	5634	7778	10433	11462	7738	6730	7226	8398	10386
6	10601	6235	3713	5618	7867	10589	11411	7629	6748	7178	8440	10409
7	10481	6252	3611	5650	7956	10736	11360	7541	6838	7150	8493	10433
8	10362	6269	3546	5704	8038	10786	11310	7426	6847	7095	8578	10457
9	10242	6269	3556	5774	8130	10835	11195	7350	6838	7058	8620	10481
10	10123	6252	3621	5847	8243	10884	11107	7331	6847	6985	8716	10481
11	9983	6167	3740	5912	8325	10946	11045	7226	6874	6902	8856	10517
12	9843	6083	3986	5969	8451	10971	10884	7150	6911	6893	8845	10565
13	9703	6002	4140	6035	8557	11020	10724	7077	6957	6810	8889	10613
14	9567	5904	4255	6125	8652	11107	10577	6939	6957	6713	8943	10687
15	9454	5743	4340	6193	8716	11144	10433	6802	6985	6695	9042	10736
16	9318	5525	4402	6346	8790	11170	10314	6722	7022	6739	9119	10773
17	9184	5374	4434	6397	8932	11195	10158	6739	7058	6775	9195	10773
18	9042	5329	4428	6465	8998	11208	10018	6527	7123	6994	9285	10773
19	8867	5181	4408	6536	9086	11271	9890	6509	7188	7104	9352	10773
20	8705	5038	4421	6589	9140	11310	9738	6500	7235	7188	9431	10773
21	8589	4904	4498	6642	9228	11386	9578	6439	7264	7245	9511	10773
22	8440	4761	4620	6722	9307	11424	9431	6439	7302	7293	9590	10761
23	8274	4601	4694	6801	9409	11462	9262	6465	7340	7379	9680	10724
24	8100	4440	4700	6865	9488	11449	9119	6491	7369	7417	9727	10724
25	7897	4285	4741	6930	9544	11525	8976	6456	7379	7455	9808	10711
26	7699	4164	4862	6976	9624	11525	8801	6388	7407	7503	9878	10674
27	7522	4054	5017	7058	9692	11551	8620	6380	7407	7590	9960	10637
28	7331	3968	5095	7104	9762	11589	8461	6439	7407	7659	10041	10589
29	7150		5314	7188	9808	11640	8325	6562	7436	7758	10088	10541
30	7012		5418	7293	9890	11679	8202	6660	7445	7847	10158	10493
31	6829		5494		9983		8130	6704		7897		10445
PROMEDIO	9204.45	5531.64	4329.06	6291.80	8757.26	11047.10	10159.29	6983.81	7057.67	7218.26	9114.37	10575.42
MÁXIMO	11271.00	6651.00	5494.00	7293.00	9983.00	11679.00	11653.00	8069.00	7445.00	7897.00	10158.00	10773.00
MÍNIMO	6829.00	3968.00	3546.00	5564.00	7398.00	9995.00	8130.00	6380.00	6686.00	6695.00	8059.00	10218.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2007
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	10362	5366	2690	4231	7031	9983	12444	9669	9866	10338	11297	14319
2	10278	5299	2640	4340	7104	10076	12430	9624	9948	10314	11398	14233
3	10206	5159	2614	4479	7207	10158	12390	9544	10006	10290	11525	14119
4	10099	5031	2574	4581	7283	10230	12377	9431	10053	10290	11627	14005
5	9983	4912	2523	4673	7417	10290	12296	9330	10099	10290	11718	13891
6	9866	4594	2503	4781	7522	10397	12243	9228	10230	10254	11823	13777
7	9715	4402	2497	4890	7590	10445	12149	9151	10326	10218	11979	13663
8	9544	4255	2495	5024	7689	10493	12058	9097	10374	10218	12097	13549
9	9398	4112	2485	5137	7808	10589	12005	9064	10421	10218	12283	13435
10	9184	3923	2523	5284	7877	10699	11940	9031	10469	10194	12471	13306
11	9009	3729	2586	5441	7977	10823	11836	9020	10505	10182	12578	13153
12	8791	3586	2658	5618	8079	10909	11705	9075	10529	10146	12713	13001
13	8557	3482	2751	5728	8192	11008	11564	9064	10553	10170	12850	12850
14	8377	3398	2840	5823	8274	11070	11449	9108	10553	10170	12988	12726
15	8171	3370	2898	5953	8346	11195	11297	9140	10589	10170	13139	12591
16	7877	3337	2884	5929	8451	11297	11144	9119	10625	10194	13292	12471
17	7629	3283	2833	5823	8483	11449	10971	9140	10625	10218	13449	12337
18	7417	3223	2807	5831	8589	11589	10847	9140	10625	10254	13663	12203
19	7226	3218	2823	5855	8663	11666	10650	9140	10601	10314	13748	12097
20	6966	3227	2869	5929	8823	11758	10469	9162	10625	10362	13877	11979
21	6802	3205	2923	5953	8921	11862	10362	9195	10613	10469	13991	11849
22	6615	3150	3006	5977	9031	11966	10254	9239	10565	10517	14162	11718
23	6509	3137	3089	6092	9151	12058	10206	9285	10529	10613	14233	11589
24	6440	3116	3158	6244	9195	12110	10099	9341	10505	10699	14347	11475
25	6150	3037	3223	6405	9262	12162	10018	9386	10505	10711	14391	11398
26	6035	2927	3257	6545	9341	12256	9936	9488	10505	10786	14494	11284
27	5896	2848	3323	6651	9443	12350	9901	9533	10493	10872	14494	11170
28	5673	2777	3435	6739	9533	12310	9855	9578	10433	10958	14465	11070
29	5540		3601	6847	9601	12296	9785	9624	10409	11020	14450	10958
30	5463		3814	6939	9797	12404	9727	9703	10397	11119	14391	10847
31	5411		4077		10018		9680	9785		11208		10773
PROMEDIO	7909.32	3753.68	2916.10	5658.07	8441.87	11263.27	11099.58	9304.32	10419.20	10444.39	13131.10	12510.84
MÁXIMO	10362.00	5366.00	4077.00	6939.00	10018.00	12404.00	12444.00	9785.00	10625.00	11208.00	14494.00	14319.00
MÍNIMO	5411.00	2777.00	2485.00	4231.00	7031.00	9983.00	9680.00	9020.00	9866.00	10146.00	11297.00	10773.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2008
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	10674	6713	5587	5299	6562	8801	10946	12032	11758	12203	12350	14062
2	10577	6598	5572	5284	6668	8878	10971	12071	11784	12162	12404	14176
3	10481	6422	5572	5292	6739	8954	11008	12097	11810	12123	12457	14290
4	10386	6218	5525	5359	6856	9020	11057	12097	11836	12097	12524	14377
5	10290	6059	5404	5517	6994	9086	11107	12097	11836	12071	12645	14494
6	10182	5912	5351	5587	7086	9162	11170	12097	11862	12045	12699	14583
7	10099	5759	5314	5533	7178	9239	11208	12123	11901	12045	12781	14613
8	9995	5603	5269	5463	7302	9318	11246	12097	11992	12019	12878	14628
9	9878	5433	5262	5404	7407	9431	11271	12071	12019	11992	12974	14687
10	9762	5262	5262	5351	7493	9544	11284	12071	12019	11979	13056	14761
11	9646	5116	5314	5329	7570	9635	11322	12071	12019	12005	13111	14820
12	9533	5066	5299	5344	7629	9738	11335	12058	12045	11966	13194	14820
13	9431	5052	5232	5381	7669	9808	11373	12019	12071	11966	13235	14864
14	9307	4995	5210	5411	7728	9890	11411	11992	12110	11966	13278	14879
15	9195	4939	5195	5471	7758	10006	11462	11966	12149	11992	13378	14864
16	9086	4883	5232	5603	7758	10111	11513	11940	12149	11966	13477	14820
17	8954	4808	5374	5735	7758	10182	11589	11901	12162	11940	13535	14820
18	8769	4734	5517	5807	7778	10266	11627	11862	12256	11940	13592	14909
19	8620	4761	5603	5888	7778	10362	11666	11836	12270	11914	13677	14894
20	8493	4862	5603	5920	7817	10445	11731	11836	12377	11914	13720	14835
21	8388	4988	5603	5872	7926	10517	11771	11836	12417	11888	13748	14746
22	8264	5116	5603	5839	8007	10553	11823	11862	12417	11914	13791	14642
23	8130	5284	5595	5839	8079	10589	11862	11849	12404	11940	13834	14524
24	7997	5426	5540	5839	8141	10637	11888	11810	12363	11966	13834	14406
25	7798	5486	5478	5888	8223	10711	11914	11784	12350	11979	13834	14233
26	7600	5509	5471	5969	8294	10761	11888	11758	12310	12032	13863	14091
27	7407	5548	5448	6051	8366	10835	11914	11758	12283	12123	13905	13920
28	7226	5626	5448	6150	8472	10884	11940	11758	12283	12203	13948	13734
29	7077	5642	5441	6320	8589	10921	11966	11758	12256	12243	13977	13563
30	6939		5381	6456	8673	10946	11979	11758	12229	12283	14005	13363
31	6820		5322		8737		12019	11758		12310		13166
PROMEDIO	8935.61	5442.07	5420.23	5673.37	7710.81	9974.33	11524.55	11936.23	12124.57	12038.26	13323.47	14438.19
MÁXIMO	10674.00	6713.00	5603.00	6456.00	8737.00	10946.00	12019.00	12123.00	12417.00	12310.00	14005.00	14909.00
MÍNIMO	6820.00	4734.00	5195.00	5284.00	6562.00	8801.00	10946.00	11758.00	11758.00	11888.00	12350.00	13166.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2009
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	12974	7967	5920	6329	7197	7946	8141	6059	6474	5471	5953	8175
2	12795	7837	5863	6380	7207	7877	8141	6010	6474	5329	5961	8110
3	12591	7738	5806	6439	7283	7778	8141	5969	6474	5137	5994	8018
4	12404	7639	5735	6536	7407	7669	8141	5839	6439	4960	6051	7949
5	12203	7541	5712	6651	7474	7436	8110	5650	6363	4829	6142	7856
6	12019	7445	5712	6713	7512	7369	8059	5587	6337	4856	6235	7720
7	11797	7350	5704	6766	7580	7331	8048	5494	6320	4988	6439	7558
8	11589	7254	5665	6792	7669	7312	8018	5456	6303	5052	6545	7354
9	11411	7160	5626	6810	7718	7340	8007	5525	6227	4995	6713	7167
10	11233	7058	5587	6810	7738	7436	7946	5657	6116	4903	6920	7040
11	11057	6957	5548	6828	7758	7455	7907	5735	6018	4808	7058	6776
12	10860	6865	5533	6856	7788	7436	7857	5806	5945	4694	7123	6598
13	10687	6775	5556	6893	7827	7493	7827	5872	5912	4594	7197	6377
14	10493	6704	5540	6957	7857	7639	7748	5863	5863	4734	7312	6132
15	10326	6615	5441	7003	7897	7639	7699	5839	5847	4829	7407	5900
16	10135	6545	5329	7049	7956	7738	7600	5847	5888	4995	7503	5700
17	9948	6483	5240	7068	7966	7808	7503	5888	5953	5159	7590	5501
18	9762	6448	5173	7086	8028	7877	7407	5969	5986	5344	7649	5291
19	9578	6405	5152	7114	8059	7897	7283	6043	6051	5418	7709	5066
20	9398	6346	5173	7150	8079	7926	7141	6075	6116	5494	7758	4865
21	9217	6286	5277	7188	8141	7966	6985	6116	6116	5556	7778	4680
22	9064	6193	5374	7150	8151	8028	6847	6184	6092	5572	7748	4615
23	8932	6142	5441	7178	8182	8059	6792	6244	6026	5650	7718	4673
24	8812	6075	5548	7207	8182	8069	6783	6337	5986	5728	7699	4810
25	8695	6026	5720	7235	8182	8120	6730	6474	5986	5774	7679	5004
26	8578	5986	5896	7254	8161	8151	6677	6580	5977	5798	7659	5190
27	8472	5969	5986	7274	8141	8223	6615	6633	5937	5831	7629	5275
28	8366	5961	6059	7254	8100	8223	6509	6651	5872	5872	7570	5330
29	8284		6133	7245	8089	8212	6388	6615	5759	5863	7512	5415
30	8202		6210	7216	8028	8171	6252	6553	5618	5847	7445	5485
31	8100		6261		7987		6142	6500		5888		5430
PROMEDIO	10257.48	6777.50	5642.58	6947.70	7849.81	7787.47	7401.42	6034.52	6082.50	5289.29	7123.20	6163.23
MÁXIMO	12974.00	7967.00	6261.00	7274.00	8182.00	8223.00	8141.00	6651.00	6474.00	5888.00	7778.00	8175.00
MÍNIMO	8100.00	5961.00	5152.00	6329.00	7197.00	7312.00	6142.00	5456.00	5618.00	4594.00	5953.00	4615.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2010
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	5399	2678	2738	3140	5540	8377	10174	11936	12807	13215	13577	14287
2	5345	2660	2822	3210	5652	8432	10236	12003	12769	13234	13577	14124
3	5221	2660	2920	3276	5788	8497	10290	12070	12740	13272	13558	14114
4	5020	2660	2955	3344	5916	8570	10343	12156	12721	13348	13577	14172
5	4787	2648	2920	3406	6028	8644	10396	12214	12702	13443	13577	14124
6	4538	2612	2881	3439	6188	8708	10450	12281	12712	13519	13558	14124
7	4286	2593	2892	3487	6496	8764	10512	12358	12740	13596	13548	14143
8	4036	2589	2941	3610	6589	8819	10574	12435	12759	13673	13491	14114
9	3822	2568	2998	3716	6742	8865	10610	12550	12759	13673	13443	14095
10	3598	2540	3099	3806	6853	8938	10663	12645	12778	13692	13443	14105
11	3458	2523	3190	3901	6980	9008	10717	12740	12778	13692	13443	14028
12	3346	2518	3256	4065	7074	9078	10753	12835	12759	13711	13462	14201
13	3264	2525	3301	4267	7176	9158	10789	12902	12759	13740	13472	14162
14	3223	2531	3318	4435	7261	9193	10843	12949	12759	13778	13500	14210
15	3161	2546	3344	4635	7346	9228	10897	13016	12740	13807	13510	14326
16	3058	2555	3378	4880	7380	9263	11005	13044	12721	13826	13538	14278
17	2972	2559	3378	5058	7490	9298	11041	13063	12721	13836	13538	14153
18	2916	2576	3318	5167	7550	9369	11077	13063	12740	13874	13538	14095
19	2923	2576	3268	5229	7575	9439	11131	13044	12759	13903	13567	14057
20	2832	2553	3260	5322	7592	9571	11167	13044	12788	13903	13615	13999
21	2815	2544	3297	5361	7635	9650	11221	13025	12816	13884	13711	13922
22	2769	2544	3359	5415	7703	9712	11275	13025	12845	13884	13788	13826
23	2738	2542	3463	5461	7762	9774	11329	13025	12883	13884	13865	13711
24	2721	2534	3598	5540	7830	9818	11392	13025	12940	13865	13942	13634
25	2690	2546	3682	5588	7864	9898	11455	13016	12997	13836	14057	13606
26	2660	2574	3649	5556	7924	9951	11491	12987	13044	13778	14153	13519
27	2654	2602	3604	5524	7983	9996	11545	12959	13111	13750	14258	13500
28	2633	2654	3463	5500	8046	10049	11581	12930	13158	13721	14326	13443
29	2636		3297	5500	8120	10076	11648	12911	13177	13673	14431	13377
30	2663		3169	5500	8239	10112	11724	12883	13196	13615	14460	13358
31	2675		3124		8322		11811	12845		13596		13396
PROMEDIO	3447.06	2578.93	3222.00	4544.60	7182.06	9275.17	10972.26	12741.26	12839.27	13684.55	13717.43	13942.03
MÁXIMO	5399.00	2678.00	3682.00	5588.00	8322.00	10112.00	11811.00	13063.00	13196.00	13903.00	14460.00	14326.00
MÍNIMO	2633.00	2518.00	2738.00	3140.00	5540.00	8377.00	10174.00	11936.00	12702.00	13215.00	13443.00	13358.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2011
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	13291	8727	5828	7210	10058	12921	11907	10690	9536	8892	10960	12339
2	13177	8497	5788	7244	10201	13044	11849	10663	9536	8856	11023	12454
3	13073	8350	5796	7295	10352	13111	11801	10637	9527	8828	11077	12617
4	12949	8110	5844	7320	10468	13139	11801	10610	9492	8828	11122	12740
5	12854	7856	5980	7337	10610	13130	11772	10557	9457	8819	11122	12816
6	12750	7592	6132	7363	10762	13101	11744	10512	9404	8800	11122	12892
7	12617	7337	6236	7414	10942	13082	11724	10494	9351	8828	11140	12978
8	12559	7065	6334	7473	11122	13082	11696	10468	9316	8856	11167	13044
9	12416	6725	6419	7541	11302	13111	11619	10432	9316	8892	11194	13120
10	12320	6530	6419	7575	11518	13139	11563	10405	9281	8911	11212	13206
11	12156	6394	6419	7677	11811	13139	11500	10387	9246	8928	11212	13272
12	12003	6368	6479	7754	12012	13111	11437	10316	9184	9078	11239	13367
13	11811	6419	6547	7864	12195	13073	11383	10325	9096	9105	11275	13434
14	11696	6334	6615	7932	12348	13035	11320	10290	9026	9140	11302	13481
15	11573	6236	6683	8018	12512	12997	11257	10245	8964	9210	11302	13577
16	11419	6180	6708	8101	12607	12968	11203	10236	8911	9378	11329	13663
17	11284	6140	6725	8221	12674	12940	11140	10174	8874	9483	11374	13721
18	11131	6148	6742	8331	12702	12883	11059	10058	8856	9633	11374	13778
19	11077	6172	6776	8451	12721	12854	10978	10031	8955	9730	11383	13826
20	10942	6180	6827	8607	12740	12835	11023	9960	8973	9827	11419	13826
21	10861	6228	6827	8736	12731	12797	10969	9862	8964	9960	11464	13826
22	10735	6244	6836	8846	12693	12721	10915	9791	8999	10031	11527	13807
23	10619	6244	6878	9008	12664	12617	10861	9747	8973	10103	11581	13788
24	10539	6196	6955	9140	12636	12502	10807	9721	8973	10209	11628	13769
25	10414	6092	6997	9290	12617	12454	10744	9694	8973	10281	11705	13740
26	10209	6012	7006	9422	12683	12416	10681	9668	8955	10387	11772	13711
27	10031	5924	7057	9562	12750	12300	10637	9624	8955	10476	11840	13692
28	9791	5884	7108	9703	12797	12195	10637	9606	8938	10574	11916	13711
29	9598		7142	9827	12864	12099	10619	9598	8938	10762	12051	13711
30	9378		7167	9951	12892	12022	10654	9562	8929	10807	12214	13682
31	9061		7184		12892		10717	9536		10906		13644
PROMEDIO	11430.13	6720.86	6595.29	8273.77	11996.00	12827.27	11226.35	10125.77	9129.93	9565.10	11401.53	13394.58
MÁXIMO	13291.00	8727.00	7184.00	9951.00	12892.00	13139.00	11907.00	10690.00	9536.00	10906.00	12214.00	13826.00
MÍNIMO	9061.00	5884.00	5788.00	7210.00	10058.00	12022.00	10619.00	9536.00	8856.00	8800.00	10960.00	12339.00

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN CALAMAR - CAUDALES DIARIOS PARA EL AÑO 2012
(Valores en m³/s)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	13606	8515	5082	5206	8405							
2	13538	8350	4981	5260	8524							
3	13443	8166	4857	5337	8635							
4	13367	8037	4728	5392	8718							
5	13272	7932	4654	5415	8810							
6	13092	7830	4583	5485	8910							
7	12959	7711	4519	5556	8999							
8	12797	7592	4415	5636	9087							
9	12636	7482	4390	5732	9184							
10	12473	7405	4351	5884	9290							
11	12310	7354	4344	6044	9386							
12	12147	7303	4325	6196	9466							
13	11955	7244	4312	6326	9536							
14	11753	7167	4286	6419	9606							
15	11563	7091	4274	6521	9677							
16	11428	7006	4261	6649	9756							
17	11248	6912	4235	6751	9836							
18	11059	6827	4228	6819	9907							
19	10861	6734	4274	6887	9987							
20	10663	6598	4274	7031	10085							
21	10494	6462	4293	7184	10174							
22	10316	6326	4344	7295	10245							
23	10129	6148	4377	7388	10307							
24	9925	6020	4441	7507	10352							
25	9747	5884	4512	7618	10387							
26	9562	5756	4622	7694	10387							
27	9369	5596	4764	7881	10405							
28	9166	5407	4880	8019	10423							
29	9008	5221	4973	8147	10423							
30	8846		5051	8276	10414							
31	8672		5128		10387							
PROMEDIO	11335.61	6968.14	4540.58	6585.17	9668.00							
MÁXIMO	13606.00	8515.00	5128.00	8276.00	10423.00							
MÍNIMO	8672.00	5221.00	4228.00	5206.00	8405.00							

Estación TEBSA Niveles Medios Diarios (2000-2012)

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2000
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2.00	1.30	0.72	0.65	0.86	1.20	1.57	1.48	1.20	1.61	1.81	1.81
2	1.99	1.25	0.73	0.65	0.88	1.23	1.57	1.55	1.20	1.60	1.80	1.82
3	2.00	1.20	0.75	0.58	0.88	1.25	1.57	1.55	1.20	1.69	1.82	1.84
4	2.00	1.17	0.76	0.55	0.88	1.28	1.53	1.54	1.20	1.69	1.83	1.84
5	2.04	1.13	0.77	0.58	0.88	1.29	1.57	1.53	1.20	1.61	1.85	1.88
6	2.00	1.00	0.77	0.60	0.88	1.29	1.60	1.50	1.25	1.63	1.85	1.80
7	2.00	0.97	0.78	0.63	0.88	1.29	1.65	1.48	1.28	1.62	1.85	1.80
8	2.00	0.97	0.80	0.65	0.88	1.40	1.68	1.45	1.26	1.68	1.85	1.80
9	1.98	0.96	0.86	0.70	0.90	1.30	1.70	1.46	1.26	1.71	1.86	1.80
10	1.95	0.94	0.86	0.69	1.05	1.30	1.60	1.46	1.25	1.71	1.85	1.80
11	1.90	0.94	0.86	0.67	1.07	1.30	1.61	1.45	1.30	1.60	1.85	1.85
12	1.90	0.92	0.90	0.65	1.05	1.32	1.60	1.45	1.41	1.60	1.85	1.85
13	1.90	0.93	0.95	0.62	0.98	1.32	1.60	1.45	1.42	1.65	1.84	1.73
14	1.88	0.93	0.95	0.63	1.00	1.40	1.58	1.45	1.48	1.70	1.82	1.73
15	1.85	0.93	0.93	0.67	1.00	1.40	1.57	1.43	1.48	1.75	1.75	1.73
16	1.83	0.85	0.90	0.68	1.00	1.38	1.56	1.42	1.48	1.80	1.78	1.73
17	1.81	0.75	0.87	0.68	1.00	1.36	1.56	1.43	1.48	1.80	1.78	1.73
18	1.79	0.70	0.85	0.70	1.02	1.35	1.56	1.42	1.40	1.80	1.78	1.73
19	1.70	0.63	0.83	0.73	1.03	1.40	1.56	1.41	1.40	1.80	1.78	1.75
20	1.70	0.57	0.80	0.75	1.04	1.48	1.60	1.39	1.47	1.80	1.78	1.65
21	1.68	0.44	0.79	0.78	1.05	1.48	1.59	1.38	1.49	1.80	1.86	1.48
22	1.65	0.54	0.76	0.79	1.10	1.52	1.58	1.36	1.49	1.80	1.84	1.45
23	1.60	0.57	0.73	0.80	1.18	1.53	1.56	1.34	1.50	1.85	1.83	1.40
24	1.58	0.55	0.70	0.80	1.18	1.54	1.55	1.30	1.50	1.85	1.83	1.35
25	1.55	0.58	0.67	0.82	1.20	1.56	1.51	1.28	1.55	1.85	1.83	1.30
26	1.55	0.63	0.65	0.83	1.20	1.57	1.49	1.26	1.53	1.85	1.83	1.38
27	1.54	0.67	0.65	0.85	1.20	1.57	1.48	1.23	1.58	1.85	1.80	1.22
28	1.50	0.70	0.65	0.85	1.20	1.57	1.48	1.20	1.55	1.85	1.79	1.10
29	1.45	0.71	0.65	0.85	1.21	1.57	1.47	1.20	1.58	1.85	1.80	1.10
30	1.40		0.65	0.86	1.20	1.57	1.47	1.20	1.60	1.82	1.80	1.05
31	1.35		0.65		1.20		1.45	1.20		1.81		1.34
PROMEDIO	1.78	0.84	0.78	0.71	1.03	1.40	1.56	1.40	1.40	1.74	1.82	1.61
MÁXIMO	2.04	1.30	0.95	0.86	1.21	1.57	1.70	1.55	1.60	1.85	1.86	1.88
MÍNIMO	1.35	0.44	0.65	0.55	0.86	1.20	1.45	1.20	1.20	1.60	1.75	1.05

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2001
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1.05	0.48	0.05	0.55	0.35	0.68	0.70	0.55	0.40	0.75	1.10	1.25
2	1.05	0.42	0.05	0.60	0.40	0.65	0.70	0.55	0.40	0.78	1.10	1.25
3	1.05	0.40	0.05	0.50	0.40	0.62	0.65	0.55	0.40	0.75	1.10	1.25
4	1.04	0.37	0.05	0.40	0.35	0.62	0.58	0.60	0.41	0.75	1.10	1.26
5	1.02	0.35	0.05	0.40	0.35	0.62	0.56	0.60	0.41	0.70	1.09	1.27
6	1.01	0.32	0.17	0.32	0.30	0.65	0.52	0.65	0.41	0.75	1.00	1.30
7	1.00	0.30	0.15	0.35	0.30	0.70	0.55	0.65	0.40	0.80	1.09	1.34
8	0.90	0.27	0.15	0.35	0.30	0.71	0.58	0.62	0.40	0.80	1.10	1.35
9	0.80	0.09	0.10	0.38	0.35	0.72	0.58	0.62	0.40	0.80	1.10	1.36
10	0.78	0.10	0.15	0.20	0.40	0.72	0.60	0.62	0.40	0.71	1.10	1.38
11	0.70	0.13	0.18	0.25	0.45	0.74	0.55	0.55	0.40	0.80	1.12	1.37
12	0.69	0.16	0.22	0.25	0.50	0.73	0.62	0.55	0.40	0.89	1.15	1.36
13	0.67	0.18	0.24	0.25	0.50	0.70	0.60	0.55	0.46	0.88	1.18	1.35
14	0.66	0.20	0.25	0.30	0.60	0.70	0.60	0.55	0.45	0.85	1.20	1.35
15	0.65	0.20	0.35	0.33	0.60	0.70	0.60	0.42	0.48	0.85	1.20	1.35
16	0.60	0.18	0.39	0.35	0.65	0.70	0.60	0.45	0.50	0.82	1.20	1.35
17	0.58	0.17	0.35	0.35	0.60	0.70	0.58	0.37	0.55	0.81	1.20	1.35
18	0.55	0.15	0.35	0.40	0.60	0.70	0.54	0.37	0.55	0.83	1.20	1.35
19	0.55	0.15	0.35	0.40	0.60	0.70	0.55	0.35	0.59	0.84	1.20	1.35
20	0.50	0.05	0.35	0.35	0.65	0.68	0.55	0.35	0.60	0.85	1.20	1.30
21	0.45	0.05	0.35	0.30	0.65	0.68	0.60	0.36	0.63	0.86	1.20	1.35
22	0.40	0.05	0.25	0.25	0.55	0.72	0.62	0.36	0.63	0.89	1.26	1.35
23	0.40	0.05	0.25	0.25	0.57	0.73	0.62	0.36	0.63	0.90	1.26	1.36
24	0.45	0.05	0.26	0.27	0.55	0.75	0.55	0.40	0.63	0.90	1.26	1.37
25	0.42	0.03	0.28	0.29	0.55	0.78	0.52	0.40	0.64	0.98	1.26	1.40
26	0.43	0.02	0.30	0.29	0.55	0.80	0.59	0.40	0.64	1.00	1.26	1.40
27	0.43	0.02	0.37	0.35	0.56	0.80	0.60	0.40	0.64	1.05	1.26	1.40
28	0.41	0.02	0.40	0.38	0.55	0.70	0.60	0.40	0.62	1.08	1.26	1.40
29	0.40		0.40	0.40	0.60	0.70	0.60	0.40	0.65	1.09	1.26	1.40
30	0.40		0.40	0.40	0.70	0.70	0.60	0.35	0.70	1.09	1.25	1.40
31	0.40		0.50		0.70		0.60	0.40		1.08		1.39
PROMEDIO	0.66	0.18	0.25	0.35	0.51	0.70	0.59	0.48	0.51	0.87	1.18	1.35
MÁXIMO	1.05	0.48	0.50	0.60	0.70	0.80	0.70	0.65	0.70	1.09	1.26	1.40
MÍNIMO	0.40	0.02	0.05	0.20	0.30	0.62	0.52	0.35	0.40	0.70	1.00	1.25

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2002
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1.38	0.35	0.12	0.40	0.78	0.91	1.20	0.81	0.58	0.60	0.75	1.20
2	1.38	0.38	0.12	0.40	0.78	0.92	1.20	0.80	0.58	0.60	0.80	1.14
3	1.38	0.40	0.12	0.40	0.90	0.94	1.20	0.70	0.58	0.60	0.85	1.14
4	1.38	0.45	0.20	0.50	0.90	0.94	1.20	0.65	0.58	0.60	0.95	1.10
5	1.38	0.38	0.25	0.50	0.90	0.96	1.20	0.62	0.58	0.60	1.00	1.05
6	1.37	0.38	0.22	0.50	0.90	0.96	1.15	0.62	0.58	0.60	1.00	1.03
7	1.37	0.38	0.22	0.50	0.85	0.98	1.10	0.62	0.60	0.60	1.00	1.02
8	1.37	0.38	0.22	0.50	0.80	1.00	1.10	0.62	0.60	0.62	1.00	1.00
9	1.37	0.37	0.20	0.50	0.80	1.00	1.10	0.62	0.60	0.62	1.00	0.90
10	1.35	0.35	0.15	0.50	0.80	1.00	1.10	0.60	0.60	0.62	1.00	0.90
11	1.33	0.33	0.10	0.40	0.75	1.00	1.10	0.55	0.60	0.62	1.00	0.90
12	1.25	0.28	0.10	0.39	0.70	1.00	1.10	0.55	0.65	0.62	1.00	0.90
13	1.18	0.25	0.10	0.46	0.70	1.10	1.10	0.55	0.63	0.62	1.10	0.85
14	1.15	0.25	0.08	0.46	0.70	1.10	1.10	0.55	0.60	0.62	1.15	0.85
15	1.12	0.26	0.08	0.46	0.68	1.10	1.10	0.58	0.58	0.62	1.18	0.80
16	1.10	0.28	0.08	0.50	0.70	1.20	1.10	0.50	0.58	0.60	1.18	0.78
17	1.10	0.30	0.08	0.55	0.70	1.20	1.10	0.50	0.55	0.68	1.20	0.78
18	1.00	0.30	0.08	0.60	0.75	1.20	1.10	0.45	0.50	0.68	1.20	0.80
19	0.90	0.30	0.08	0.60	0.78	1.20	0.90	0.45	0.50	0.68	1.20	0.80
20	0.88	0.30	0.08	0.60	0.82	1.20	0.90	0.44	0.50	0.68	1.20	0.70
21	0.84	0.30	0.10	0.65	0.70	1.20	0.90	0.44	0.60	0.68	1.20	0.70
22	0.80	0.30	0.20	0.68	0.80	1.20	0.90	0.44	0.60	0.68	1.20	0.71
23	0.80	0.25	0.20	0.70	0.80	1.20	0.80	0.42	0.60	0.68	1.22	0.75
24	0.70	0.23	0.25	0.70	0.76	1.20	0.80	0.50	0.60	0.69	1.23	0.73
25	0.60	0.23	0.30	0.66	0.75	1.20	0.80	0.60	0.58	0.70	1.24	0.74
26	0.50	0.18	0.38	0.65	0.75	1.10	0.80	0.58	0.57	0.71	1.25	0.72
27	0.40	0.17	0.38	0.65	0.75	1.10	0.80	0.55	0.57	0.71	1.25	0.70
28	0.40	0.14	0.40	0.70	0.75	1.20	0.80	0.55	0.57	0.72	1.25	0.68
29	0.41		0.40	0.82	0.75	1.20	0.80	0.55	0.57	0.73	1.25	0.67
30	0.37		0.40	0.82	0.75	1.20	0.80	0.58	0.57	0.74	1.22	0.67
31	0.35		0.40		0.90		0.80	0.58		0.75		0.67
PROMEDIO	1.00	0.30	0.20	0.56	0.78	1.09	1.00	0.57	0.58	0.65	1.10	0.85
MÁXIMO	1.38	0.45	0.40	0.82	0.90	1.20	1.20	0.81	0.65	0.75	1.25	1.20
MÍNIMO	0.35	0.14	0.08	0.39	0.68	0.91	0.80	0.42	0.50	0.60	0.75	0.67

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2003
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	0.68	0.30	0.10	0.30	0.60	0.80	1.05	1.10	1.00	0.96	1.50	1.73
2	0.71	0.26	0.10	0.20	0.65	0.80	1.15	1.10	1.00	0.96	1.52	1.75
3	0.50	0.26	0.10	0.23	0.65	0.80	1.15	1.12	1.00	0.96	1.53	1.78
4	0.55	0.26	0.10	0.23	0.70	0.90	1.15	1.12	1.04	1.00	1.54	1.80
5	0.50	0.23	0.10	0.24	0.70	0.90	1.15	1.13	1.02	1.05	1.56	1.83
6	0.55	0.20	0.10	0.24	0.75	0.90	1.15	1.13	1.00	1.05	1.56	1.82
7	0.60	0.20	0.10	0.24	0.75	1.00	1.15	1.10	1.00	1.10	1.56	1.82
8	0.60	0.20	0.10	0.30	0.75	1.00	1.15	1.10	0.90	1.10	1.60	1.83
9	0.60	0.20	0.10	0.35	0.75	1.00	1.15	1.12	0.85	1.12	1.60	1.82
10	0.58	0.20	0.10	0.40	0.75	1.00	1.10	1.12	0.85	1.16	1.60	1.83
11	0.55	0.30	0.20	0.40	0.75	1.00	1.15	1.15	0.80	1.16	1.60	1.83
12	0.50	0.30	0.25	0.40	0.75	0.85	1.15	1.15	0.80	1.16	1.63	1.83
13	0.50	0.20	0.25	0.35	0.80	0.85	1.20	1.12	0.90	1.16	1.64	1.85
14	0.50	0.10	0.25	0.35	0.80	0.86	1.20	1.15	0.90	1.16	1.65	1.90
15	0.50	0.10	0.25	0.35	0.75	0.86	1.25	1.15	0.90	1.20	1.67	1.90
16	0.50	0.10	0.20	0.38	0.70	0.86	1.25	1.12	0.80	1.18	1.70	1.90
17	0.40	0.10	0.20	0.45	0.70	1.00	1.25	1.12	0.90	1.18	1.70	1.90
18	0.40	0.10	0.20	0.50	0.70	1.00	1.34	1.10	0.90	1.18	1.70	1.92
19	0.40	0.10	0.20	0.55	0.70	1.10	1.30	1.10	0.90	1.18	1.70	1.92
20	0.40	0.10	0.20	0.60	0.75	1.10	1.25	1.08	0.90	1.18	1.70	1.92
21	0.40	0.10	0.20	0.60	0.75	1.10	1.25	1.08	0.90	1.18	1.70	1.92
22	0.45	0.15	0.20	0.65	0.75	1.10	1.25	1.08	0.90	1.33	1.70	1.92
23	0.46	0.20	0.20	0.68	0.75	1.10	1.15	1.05	0.90	1.40	1.70	1.85
24	0.46	0.30	0.20	0.70	0.75	1.10	1.15	1.05	0.90	1.40	1.70	1.91
25	0.43	0.33	0.20	0.70	0.75	1.10	1.10	1.05	0.90	1.40	1.70	1.91
26	0.43	0.25	0.20	0.68	0.80	1.15	1.10	1.05	0.95	1.40	1.70	1.91
27	0.40	0.20	0.19	0.67	0.80	1.15	1.10	1.12	0.95	1.40	1.70	1.91
28	0.40	0.20	0.19	0.66	0.80	1.15	1.10	1.18	0.95	1.40	1.70	1.91
29	0.40		0.40	0.63	0.80	1.10	1.10	1.05	0.95	1.40	1.70	1.91
30	0.40		0.40	0.62	0.80	1.05	1.10	1.05	0.95	1.45	1.70	1.89
31	0.30		0.40		0.80		1.10	1.05		1.48		1.88
PROMEDIO	0.49	0.20	0.19	0.46	0.74	0.99	1.17	1.10	0.92	1.21	1.64	1.86
MÁXIMO	0.71	0.33	0.40	0.70	0.80	1.15	1.34	1.18	1.04	1.48	1.70	1.92
MÍNIMO	0.30	0.10	0.10	0.20	0.60	0.80	1.05	1.05	0.80	0.96	1.50	1.73

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2004
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1.88	0.85	0.20	0.21	0.75	1.05	1.00	1.00	0.80	1.18	1.47	1.75
2	1.85	0.80	0.20	0.19	0.70	1.05	1.00	1.00	0.80	1.18	1.47	1.80
3	1.84	0.80	0.21	0.20	0.67	1.20	1.00	1.05	0.79	1.18	1.49	1.80
4	1.83	0.70	0.21	0.20	0.67	1.10	1.00	1.05	0.78	1.18	1.55	1.80
5	1.82	0.70	0.22	0.16	0.67	1.20	1.00	1.05	0.77	1.18	1.60	1.80
6	1.82	0.70	0.22	0.09	0.72	1.20	0.95	0.93	0.77	1.18	1.55	1.89
7	1.70	0.60	0.25	0.09	0.72	1.20	0.95	0.93	0.77	1.18	1.55	1.85
8	1.66	0.50	0.22	0.10	0.72	1.25	0.95	0.93	0.80	1.20	1.60	1.83
9	1.64	0.45	0.23	0.20	0.72	1.25	0.90	0.93	0.81	1.20	1.65	1.83
10	1.63	0.37	0.24	0.30	0.72	1.25	0.85	0.93	0.82	1.20	1.65	1.82
11	1.62	0.31	0.30	0.40	0.72	1.25	0.82	0.88	0.83	1.30	1.65	1.80
12	1.61	0.38	0.33	0.30	0.90	1.30	0.80	1.03	0.84	1.30	1.65	1.77
13	1.60	0.40	0.33	0.30	0.90	1.25	0.80	1.00	0.85	1.30	1.65	1.80
14	1.60	0.40	0.33	0.30	0.80	1.25	0.80	1.00	0.85	1.30	1.65	1.83
15	1.58	0.45	0.30	0.30	0.80	1.10	0.80	0.94	0.97	1.30	1.65	1.85
16	1.55	0.50	0.28	0.30	0.76	1.10	0.80	0.92	0.97	1.30	1.65	1.85
17	1.50	0.50	0.25	0.28	0.80	1.10	0.81	0.90	1.00	1.30	1.67	1.87
18	1.49	0.28	0.20	0.28	0.80	1.16	0.82	0.88	1.02	1.30	1.68	1.88
19	1.48	0.20	0.18	0.28	0.80	1.16	0.83	0.80	1.08	1.30	1.70	1.88
20	1.40	0.20	0.18	0.26	0.90	1.16	0.84	0.77	1.08	1.30	1.70	1.85
21	1.30	0.20	0.18	0.26	0.95	1.16	0.84	0.77	1.10	1.35	1.70	1.85
22	1.20	0.20	0.15	0.26	1.00	1.20	0.84	0.77	1.16	1.35	1.75	1.80
23	1.20	0.21	0.10	0.30	1.03	1.15	0.84	0.77	1.08	1.38	1.75	1.79
24	1.20	0.22	0.10	0.40	1.05	1.10	0.84	0.76	1.10	1.45	1.76	1.77
25	1.20	0.22	0.10	0.68	1.06	1.10	0.84	0.76	1.10	1.45	1.76	1.76
26	1.15	0.32	0.13	0.68	1.06	1.10	0.84	0.70	1.10	1.45	1.76	1.76
27	1.05	0.30	0.17	0.65	1.10	1.10	0.85	0.65	1.12	1.47	1.76	1.78
28	1.05	0.32	0.17	0.63	1.10	1.10	0.89	0.65	1.12	1.47	1.76	1.78
29	0.99	0.37	0.20	0.78	1.10	1.10	0.95	0.65	1.15	1.47	1.76	1.76
30	0.95		0.20	0.77	1.10	1.10	0.95	0.70	1.18	1.47	1.76	1.75
31	0.90		0.20		1.20		1.00	0.75		1.47		1.81
PROMEDIO	1.46	0.43	0.21	0.34	0.87	1.16	0.88	0.87	0.95	1.31	1.66	1.81
MÁXIMO	1.88	0.85	0.33	0.78	1.20	1.30	1.00	1.05	1.18	1.47	1.76	1.89
MÍNIMO	0.90	0.20	0.10	0.09	0.67	1.05	0.80	0.65	0.77	1.18	1.47	1.75

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2005
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1.65	0.75	0.56	0.30	0.70	1.32	1.46	1.10	1.00	1.20	1.50	1.80
2	1.65	0.75	0.56	0.33	0.70	1.32	1.45	1.10	1.00	1.20	1.50	1.92
3	1.65	0.70	0.54	0.35	0.85	1.32	1.40	1.08	1.00	1.20	1.45	2.00
4	1.65	0.70	0.40	0.35	0.85	1.32	1.36	1.06	1.00	1.20	1.52	2.05
5	1.62	0.70	0.40	0.35	0.70	1.32	1.36	1.06	1.00	1.20	1.55	2.06
6	1.62	0.70	0.40	0.42	0.70	1.32	1.36	1.08	1.00	1.20	1.52	2.06
7	1.61	0.70	0.40	0.42	0.80	1.32	1.38	1.08	0.95	1.10	1.52	2.06
8	1.60	0.70	0.40	0.42	0.92	1.32	1.39	1.08	0.90	1.10	1.52	2.10
9	1.50	0.70	0.40	0.48	0.92	1.32	1.39	1.08	0.90	1.10	1.55	2.15
10	1.40	0.70	0.40	0.48	0.92	1.35	1.39	1.05	0.80	1.10	1.55	2.15
11	1.20	0.65	0.47	0.48	0.92	1.40	1.39	1.00	0.80	1.10	1.60	2.15
12	1.20	0.65	0.45	0.48	1.00	1.47	1.39	1.00	0.80	1.10	1.66	2.15
13	1.15	0.60	0.45	0.55	1.00	1.48	1.39	0.95	0.80	1.12	1.66	2.15
14	1.10	0.60	0.45	0.55	1.00	1.48	1.40	0.90	0.80	1.12	1.70	2.20
15	1.10	0.60	0.45	0.60	1.05	1.48	1.32	0.90	0.80	1.15	1.70	2.08
16	1.10	0.65	0.41	0.70	1.05	1.48	1.32	0.90	0.80	1.15	1.70	2.08
17	1.10	0.70	0.41	0.70	1.08	1.48	1.32	0.90	0.80	1.18	1.70	2.08
18	1.10	0.76	0.41	0.70	1.10	1.48	1.32	0.90	0.80	1.20	1.70	2.00
19	1.05	0.70	0.40	0.65	1.09	1.48	1.32	0.90	0.80	1.23	1.71	1.98
20	1.05	0.60	0.40	0.65	1.00	1.48	1.32	0.95	0.80	1.23	1.74	1.98
21	1.00	0.56	0.40	0.65	1.10	1.48	1.32	0.95	0.78	1.23	1.74	1.95
22	1.00	0.54	0.40	0.65	1.10	1.48	1.32	0.95	0.78	1.25	1.74	2.00
23	1.00	0.52	0.40	0.65	1.09	1.48	1.30	0.98	0.78	1.30	1.79	2.00
24	0.90	0.52	0.40	0.65	1.15	1.48	1.30	0.98	0.78	1.30	1.79	2.00
25	0.90	0.55	0.40	0.65	1.15	1.50	1.30	0.97	0.78	1.35	1.79	2.00
26	0.88	0.55	0.40	0.65	1.18	1.50	1.30	0.97	0.78	1.35	1.80	2.03
27	0.88	0.60	0.40	0.70	1.27	1.50	1.31	0.97	0.85	1.38	1.80	2.03
28	0.88	0.60	0.40	0.70	1.30	1.50	1.31	0.97	0.87	1.40	1.80	2.03
29	0.80		0.35	0.70	1.31	1.50	1.31	0.97	0.87	1.45	2.00	2.03
30	0.80		0.35	0.70	1.32	1.46	1.25	1.00	0.90	1.45	2.00	2.03
31	0.80		0.35		1.35		1.15	1.00		1.50		2.03
PROMEDIO	1.19	0.64	0.42	0.56	1.02	1.43	1.34	0.99	0.86	1.23	1.68	2.04
MÁXIMO	1.65	0.76	0.56	0.70	1.35	1.50	1.46	1.10	1.00	1.50	2.00	2.20
MÍNIMO	0.80	0.52	0.35	0.30	0.70	1.32	1.15	0.90	0.78	1.10	1.45	1.80

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2006
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1.82	1.05	0.57	0.57	1.20	1.79	1.98	1.40	1.00	1.20	1.42	1.82
2	1.85	1.00	0.50	0.60	1.20	1.79	1.98	1.38	1.00	1.20	1.42	1.82
3	1.85	0.97	0.47	0.70	1.20	1.79	1.98	1.38	1.00	1.20	1.42	1.82
4	1.82	0.97	0.45	0.70	1.30	1.79	1.98	1.34	1.00	1.22	1.42	1.82
5	1.88	0.97	0.45	0.70	1.35	1.79	1.98	1.34	1.02	1.22	1.45	1.80
6	1.88	0.97	0.45	0.70	1.35	1.80	1.90	1.34	1.02	1.20	1.45	1.77
7	1.85	0.95	0.45	0.71	1.35	1.82	1.90	1.34	1.02	1.15	1.45	1.77
8	1.85	0.95	0.45	0.72	1.35	1.82	1.90	1.34	1.02	1.15	1.45	1.77
9	1.84	0.95	0.45	0.73	1.35	1.82	1.90	1.34	1.10	1.12	1.45	1.77
10	1.79	0.95	0.45	0.74	1.35	1.82	1.90	1.30	1.10	1.10	1.45	1.77
11	1.75	0.90	0.45	0.75	1.35	1.82	1.86	1.20	1.10	1.12	1.45	1.77
12	1.75	0.80	0.45	0.75	1.40	1.82	1.86	1.19	1.10	1.12	1.45	1.77
13	1.70	0.68	0.45	0.76	1.45	1.84	1.85	1.19	1.10	1.15	1.45	1.77
14	1.66	0.77	0.45	0.80	1.50	1.84	1.84	1.19	1.10	1.15	1.45	1.78
15	1.66	0.77	0.45	0.85	1.50	1.84	1.83	1.19	1.12	1.15	1.45	1.80
16	1.66	0.73	0.45	0.85	1.50	1.84	1.82	1.00	1.13	1.15	1.62	1.80
17	1.64	0.73	0.45	0.90	1.55	1.84	1.81	1.00	1.13	1.15	1.62	1.85
18	1.64	0.68	0.45	0.90	1.58	1.84	1.75	0.95	1.14	1.18	1.62	1.85
19	1.64	0.68	0.49	0.90	1.55	1.86	1.70	0.95	1.15	1.18	1.65	1.85
20	1.52	0.68	0.49	0.91	1.60	1.88	1.65	0.95	1.17	1.19	1.68	1.85
21	1.52	0.68	0.49	0.92	1.65	1.94	1.65	0.95	1.17	1.20	1.68	1.85
22	1.52	0.67	0.49	0.93	1.72	1.94	1.63	0.95	1.22	1.20	1.70	1.86
23	1.40	0.62	0.51	0.94	1.70	1.94	1.58	0.95	1.22	1.20	1.68	1.87
24	1.40	0.60	0.51	0.95	1.69	1.95	1.55	0.98	1.22	1.20	1.68	1.88
25	1.44	0.60	0.55	0.96	1.68	1.95	1.55	1.02	1.22	1.20	1.70	1.88
26	1.44	0.60	0.55	1.00	1.67	1.96	1.50	1.00	1.22	1.21	1.75	1.88
27	1.44	0.57	0.54	1.05	1.65	1.98	1.50	1.00	1.20	1.25	1.82	1.88
28	1.44	0.57	0.53	1.10	1.66	1.98	1.48	0.98	1.20	1.28	1.82	1.88
29	1.44		0.54	1.10	1.68	1.98	1.47	1.00	1.20	1.32	1.82	1.90
30	1.44		0.55	1.15	1.70	1.98	1.46	1.00	1.20	1.35	1.82	1.90
31	1.08		0.56		1.75		1.45	1.00		1.37		1.90
PROMEDIO	1.63	0.79	0.49	0.84	1.50	1.87	1.75	1.13	1.12	1.20	1.58	1.83
MÁXIMO	1.88	1.05	0.57	1.15	1.75	1.98	1.98	1.40	1.22	1.37	1.82	1.90
MÍNIMO	1.08	0.57	0.45	0.57	1.20	1.79	1.45	0.95	1.00	1.10	1.42	1.77

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2007
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1.78	0.64	0.22	0.40	1.03	1.75	2.09	1.70	1.75	1.88	2.00	2.40
2	1.75	0.60	0.15	0.40	1.05	1.78	2.08	1.70	1.75	1.88	2.00	2.40
3	1.73	0.60	0.10	0.36	1.06	1.80	2.09	1.71	1.75	1.85	2.00	2.40
4	1.70	0.58	0.09	0.36	1.06	1.80	2.10	1.71	1.75	1.83	2.00	2.40
5	1.65	0.55	0.09	0.40	1.10	1.83	2.12	1.71	1.75	1.85	2.00	2.39
6	1.64	0.53	0.07	0.40	1.15	1.85	2.15	1.68	1.77	1.87	2.00	2.45
7	1.63	0.50	0.10	0.45	1.26	1.87	2.11	1.60	1.80	1.88	2.00	2.50
8	1.62	0.46	0.05	0.50	1.35	1.88	2.10	1.60	1.83	1.90	2.10	2.50
9	1.62	0.45	0.10	0.60	1.35	1.88	2.10	1.60	1.85	1.89	2.15	2.45
10	1.60	0.43	0.15	0.69	1.39	1.88	2.05	1.58	1.85	1.87	2.18	2.40
11	1.60	0.42	0.20	0.78	1.40	1.88	2.02	1.58	1.85	1.88	2.20	2.15
12	1.55	0.40	0.22	0.80	1.45	1.88	2.05	1.58	1.85	1.87	2.21	2.12
13	1.50	0.38	0.21	0.80	1.50	1.89	2.05	1.58	1.84	1.86	2.22	2.11
14	1.45	0.39	0.18	0.80	1.50	1.89	2.05	1.58	1.84	1.85	2.23	2.10
15	1.43	0.39	0.23	0.80	1.51	1.90	2.05	1.60	1.83	1.84	2.25	2.08
16	1.28	0.30	0.30	0.80	1.52	1.90	2.05	1.64	1.80	1.81	2.26	2.08
17	1.25	0.28	0.30	0.81	1.53	1.92	2.00	1.64	1.80	1.81	2.28	2.08
18	1.22	0.27	0.30	0.82	1.54	1.93	1.99	1.64	1.80	1.82	2.33	2.05
19	1.20	0.26	0.30	0.83	1.50	1.94	1.98	1.64	1.79	1.83	2.33	2.05
20	1.00	0.20	0.30	0.84	1.55	1.95	1.95	1.64	1.80	1.84	2.50	2.04
21	1.00	0.19	0.25	0.87	1.60	1.95	1.90	1.64	1.80	1.85	2.50	2.03
22	0.99	0.30	0.22	0.89	1.65	2.00	1.85	1.64	1.83	1.87	2.51	2.00
23	0.98	0.32	0.17	0.92	1.70	2.01	1.83	1.64	1.85	1.88	2.50	2.00
24	0.98	0.40	0.25	0.97	1.72	2.03	1.80	1.64	1.85	1.93	2.48	1.99
25	0.86	0.38	0.30	1.00	1.72	2.04	1.75	1.64	1.85	1.95	2.49	1.98
26	0.90	0.38	0.40	1.00	1.73	2.00	1.75	1.64	1.85	1.95	2.47	1.98
27	0.85	0.38	0.40	1.00	1.74	2.03	1.74	1.64	1.85	1.96	2.45	1.97
28	0.80	0.28	0.40	1.01	1.77	2.04	1.73	1.72	1.86	1.99	2.44	1.95
29	0.75		0.38	1.02	1.79	2.08	1.72	1.70	1.87	2.00	2.43	1.95
30	0.70		0.38	1.02	1.75	2.09	1.70	1.70	1.88	2.02	2.40	1.94
31	0.63		0.38		1.70		1.70	1.75		2.05		1.93
PROMEDIO	1.28	0.40	0.23	0.74	1.47	1.92	1.96	1.65	1.82	1.89	2.26	2.16
MÁXIMO	1.78	0.64	0.40	1.02	1.79	2.09	2.15	1.75	1.88	2.05	2.51	2.50
MÍNIMO	0.63	0.19	0.05	0.36	1.03	1.75	1.70	1.58	1.75	1.81	2.00	1.93

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2008
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1.93	1.05	0.70	0.69	0.89	1.30	1.75	1.94	1.95	2.02	1.99	2.25
2	1.92	1.00	0.70	0.70	0.90	1.30	1.76	1.96	1.90	2.03	2.00	2.28
3	1.91	0.95	0.70	0.70	0.90	1.30	1.77	1.98	1.90	2.04	1.98	2.3
4	1.90	0.95	0.71	0.69	0.89	1.38	1.78	1.99	1.90	2.04	1.98	2.30
5	1.89	0.92	0.70	0.68	0.91	1.42	1.78	2.00	1.91	2.05	1.98	2.30
6	1.88	0.85	0.71	0.68	0.90	1.45	1.79	2.00	1.91	2.05	2.00	2.35
7	1.85	0.85	0.72	0.69	0.91	1.46	1.80	2.00	1.91	2.06	2.05	2.40
8	1.84	0.82	0.72	0.69	0.92	1.53	1.80	2.00	1.91	2.06	2.10	2.50
9	1.83	0.80	0.72	0.69	0.93	1.52	1.80	2.00	1.91	2.07	2.15	2.50
10	1.79	0.75	0.72	0.70	0.94	1.52	1.80	2.00	1.92	2.08	2.20	2.40
11	1.75	0.75	0.72	0.70	0.95	1.52	1.80	2.00	1.92	2.08	2.20	2.40
12	1.74	0.72	0.72	0.71	0.98	1.53	1.80	2.00	1.92	2.09	2.20	2.30
13	1.72	0.68	0.71	0.72	1.00	1.53	1.80	2.00	1.92	2.09	2.20	2.27
14	1.69	0.65	0.70	0.72	1.03	1.54	1.80	2.00	1.93	2.09	2.20	2.27
15	1.65	0.60	0.71	0.72	1.05	1.55	1.81	2.00	1.93	2.08	2.20	2.25
16	1.59	0.60	0.72	0.75	1.09	1.55	1.82	2.00	1.94	2.08	2.20	2.24
17	1.55	0.61	0.71	0.75	1.12	1.56	1.82	2.00	1.94	2.07	2.20	2.23
18	1.50	0.63	0.71	0.78	1.15	1.57	1.83	2.00	1.94	2.06	2.24	2.22
19	1.45	0.65	0.71	0.80	1.20	1.58	1.83	1.99	1.95	2.05	2.26	2.21
20	1.40	0.65	0.72	0.81	1.21	1.59	1.83	1.99	1.95	2.04	2.28	2.20
21	1.36	0.66	0.72	0.82	1.23	1.60	1.84	1.99	1.96	2.03	2.29	2.19
22	1.32	0.68	0.71	0.83	1.24	1.62	1.85	1.98	1.96	2.02	2.30	2.18
23	1.30	0.70	0.71	0.84	1.25	1.63	1.85	1.99	1.97	2.02	2.30	2.17
24	1.30	0.72	0.71	0.83	1.25	1.64	1.85	1.99	1.98	2.02	2.30	2.14
25	1.30	0.72	0.71	0.85	1.26	1.65	1.86	1.99	1.98	2.00	2.30	2.13
26	1.28	0.73	0.70	0.88	1.26	1.66	1.87	1.98	1.99	1.99	2.29	2.10
27	1.23	0.72	0.70	0.90	1.27	1.70	1.88	1.98	2.00	1.98	2.28	2.08
28	1.18	0.71	0.71	0.91	1.28	1.72	1.90	1.98	2.00	1.97	2.26	2.09
29	1.14	0.72	0.70	0.92	1.29	1.74	1.91	1.98	2.01	1.97	2.25	2.07
30	1.09		0.70	0.90	1.30	1.75	1.92	1.98	2.01	1.98	2.22	2.06
31	1.07		0.70		1.30		1.93	1.98		1.99		2.25
PROMEDIO	1.56	0.75	0.71	0.77	1.09	1.55	1.83	1.99	1.94	2.04	2.18	2.25
MÁXIMO	1.93	1.05	0.72	0.92	1.30	1.75	1.93	2.00	2.01	2.09	2.30	2.50
MÍNIMO	1.07	0.60	0.70	0.68	0.89	1.30	1.75	1.94	1.90	1.97	1.98	2.06

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2009
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2.06	1.17	0.78	0.69	0.91	1.07	1.00	0.69	0.82	0.78	1.00	1.15
2	2.04	1.16	0.75	0.71	0.90	1.06	1.02	0.64	0.86	0.80	1.03	1.17
3	2.02	1.14	0.72	0.72	0.96	1.02	0.99	0.64	0.87	0.74	1.00	1.15
4	1.95	1.20	0.74	0.80	0.97	1.01	0.98	0.64	0.88	0.80	1.00	1.07
5	1.90	1.17	0.78	0.85	1.04	0.98	0.96	0.63	0.90	0.75	0.94	0.99
6	1.89	1.16	0.79	0.90	1.00	0.94	0.99	0.64	0.88	0.77	0.96	0.97
7	1.90	1.13	0.79	0.92	0.99	0.88	1.02	0.58	0.88	0.76	0.94	0.85
8	1.88	1.07	0.79	0.88	0.98	0.91	1.02	0.62	0.89	0.71	0.95	0.80
9	1.85	1.09	0.81	0.83	1.00	0.90	1.04	0.61	0.88	0.66	1.00	0.82
10	1.85	1.06	0.80	0.80	0.97	0.94	1.09	0.65	0.81	0.57	1.04	0.83
11	1.83	1.05	0.77	0.74	0.94	0.96	1.09	0.67	0.75	0.55	1.05	0.82
12	1.82	1.04	0.76	0.77	0.95	0.97	1.09	0.73	0.68	0.60	1.15	0.81
13	1.75	0.96	0.70	0.78	0.98	1.02	1.02	0.66	0.71	0.63	1.02	0.74
14	1.70	1.04	0.69	0.79	0.99	1.02	1.00	0.62	0.74	0.69	1.24	0.69
15	1.65	0.91	0.67	0.83	0.99	1.02	0.97	0.58	0.82	0.75	1.22	0.66
16	1.62	0.91	0.64	0.87	1.04	1.04	0.98	0.57	0.86	0.86	1.22	0.64
17	1.58	0.91	0.58	0.89	1.08	1.05	0.94	0.60	0.89	0.88	1.23	0.59
18	1.53	0.93	0.58	0.87	1.08	1.00	0.84	0.65	0.93	0.86	1.21	0.59
19	1.49	0.87	0.62	0.93	1.10	1.02	0.86	0.71	1.07	0.96	1.19	0.56
20	1.47	0.92	0.63	0.94	1.09	1.02	0.86	0.75	1.11	0.96	1.17	0.52
21	1.45	0.90	0.67	0.96	1.10	1.02	0.86	0.85	0.89	0.89	1.15	0.49
22	1.41	0.88	0.74	0.95	1.09	1.00	0.86	0.84	0.83	0.88	1.16	0.48
23	1.38	0.88	0.74	0.94	1.10	1.03	0.88	0.87	0.80	0.85	1.12	0.47
24	1.35	0.86	0.75	0.91	1.09	1.05	0.89	0.87	0.80	0.84	1.11	0.48
25	1.33	0.86	0.76	0.87	1.08	1.01	0.86	0.85	0.76	0.82	1.13	0.51
26	1.30	0.83	0.74	0.85	1.07	1.07	0.84	0.87	0.79	0.82	1.16	0.56
27	1.28	0.73	0.73	0.83	1.08	1.05	0.79	0.87	0.79	0.80	1.16	0.61
28	1.25	0.79	0.71	0.87	1.08	1.05	0.72	0.85	0.78	0.81	1.18	0.60
29	1.23		0.72	0.87	1.07	1.05	0.72	0.83	0.79	0.82	1.19	0.58
30	1.20		0.68	0.87	1.08	1.01	0.72	0.80	0.79	0.86	1.17	0.66
31	1.19		0.70		1.08		0.67	0.84		0.97		0.68
PROMEDIO	1.62	0.99	0.72	0.85	1.03	1.01	0.92	0.72	0.84	0.79	1.10	0.73
MÁXIMO	2.06	1.20	0.81	0.96	1.10	1.07	1.09	0.87	1.11	0.97	1.24	1.17
MÍNIMO	1.19	0.73	0.58	0.69	0.90	0.88	0.67	0.57	0.68	0.55	0.94	0.47

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2010
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	0.63	0.25	0.25	0.10	0.42	0.85	1.34	1.69	1.98	2.10	2.18	2.35
2	0.60	0.18	0.16	0.03	0.42	0.82	1.33	1.69	1.97	2.08	2.20	2.34
3	0.56	0.12	0.17	0.05	0.43	0.86	1.32	1.71	1.93	2.10	2.23	2.32
4	0.51	0.08	0.14	0.08	0.46	0.91	1.38	1.72	1.95	2.08	2.27	2.35
5	0.41	0.03	0.11	0.12	0.44	0.91	1.37	1.73	1.94	2.16	2.27	2.34
6	0.36	0.08	0.07	0.12	0.51	0.93	1.38	1.73	1.99	2.18	2.27	2.34
7	0.39	0.11	0.16	0.18	0.54	0.91	1.37	1.73	2.03	2.26	2.27	2.33
8	0.32	0.22	0.17	0.24	0.57	0.92	1.38	1.75	2.06	2.30	2.24	2.33
9	0.32	0.18	0.18	0.30	0.62	0.96	1.38	1.80	2.04	2.32	2.19	2.31
10	0.31	0.23	0.36	0.33	0.64	0.96	1.42	1.83	2.06	2.33	2.14	2.33
11	0.37	0.19	0.38	0.32	0.66	1.04	1.39	1.89	2.09	2.32	2.14	2.31
12	0.36	0.20	0.44	0.32	0.64	1.03	1.49	1.91	2.05	2.34	2.18	2.30
13	0.31	0.20	0.42	0.37	0.56	1.02	1.35	1.93	1.99	2.34	2.21	2.34
14	0.32	0.22	0.43	0.32	0.60	1.06	1.49	1.92	1.96	2.36	2.18	2.32
15	0.29	0.18	0.34	0.32	0.60	1.10	1.47	1.93	1.95	2.34	2.20	2.34
16	0.33	0.12	0.32	0.31	0.62	1.10	1.49	1.93	1.96	2.31	2.22	2.38
17	0.38	0.12	0.26	0.34	0.66	1.10	1.51	1.91	1.96	2.32	2.21	2.39
18	0.31	0.09	0.19	0.34	0.67	1.17	1.56	1.92	1.98	2.32	2.25	2.42
19	0.29	0.06	0.21	0.36	0.70	1.14	1.52	1.91	1.98	2.35	2.29	2.41
20	0.27	0.01	0.22	0.33	0.73	1.16	1.56	1.92	1.99	2.36	2.28	2.43
21	0.16	0.01	0.19	0.37	0.74	1.16	1.56	1.96	2.02	2.36	2.32	2.41
22	0.19	0.01	0.20	0.38	0.78	1.19	1.56	1.96	2.04	2.36	2.32	2.38
23	0.21	0.15	0.17	0.44	0.80	1.21	1.57	1.96	2.03	2.35	2.33	2.34
24	0.20	0.23	0.24	0.47	0.82	1.27	1.59	1.97	2.10	2.34	2.29	2.34
25	0.19	0.26	0.32	0.49	0.83	1.27	1.60	2.00	2.09	2.32	2.28	2.32
26	0.19	0.37	0.42	0.49	0.79	1.25	1.59	2.01	2.11	2.31	2.29	2.30
27	0.26	0.35	0.44	0.50	0.78	1.29	1.61	2.01	2.12	2.28	2.31	2.28
28	0.27	0.33	0.42	0.47	0.75	1.30	1.61	2.02	2.12	2.32	2.28	2.26
29	0.33		0.35	0.43	0.74	1.30	1.62	2.02	2.08	2.32	2.31	2.24
30	0.25		0.28	0.43	0.77	1.35	1.64	2.00	2.14	2.19	2.34	2.22
31	0.26		0.15		0.81		1.68	2.00		2.18		2.20
PROMEDIO	0.33	0.16	0.26	0.31	0.65	1.08	1.49	1.89	2.02	2.28	2.25	2.33
MÁXIMO	0.63	0.37	0.44	0.50	0.83	1.35	1.68	2.02	2.14	2.36	2.34	2.43
MÍNIMO	0.16	0.01	0.07	0.03	0.42	0.82	1.32	1.69	1.93	2.08	2.14	2.20

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2011
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2.29	1.40	0.68	1.01	1.63	2.13	1.97	1.82	1.53	1.42	1.82	2.11
2	2.26	1.33	0.68	1.02	1.63	2.10	1.94	1.81	1.52	1.37	1.80	2.12
3	2.23	1.23	0.70	1.02	1.64	2.14	1.93	1.77	1.51	1.33	1.84	2.13
4	2.20	1.15	0.75	0.98	1.64	2.14	1.92	1.78	1.49	1.30	1.84	2.14
5	2.13	1.08	0.71	0.97	1.66	2.18	1.94	1.76	1.48	1.30	1.83	2.18
6	2.11	0.99	0.74	0.94	1.67	2.18	1.92	1.73	1.46	1.34	1.83	2.22
7	2.09	0.93	0.71	0.96	1.69	2.19	1.93	1.72	1.44	1.35	1.84	2.26
8	2.09	0.89	0.75	0.97	1.73	2.18	1.86	1.66	1.43	1.37	1.85	2.26
9	2.09	0.83	0.74	0.96	1.78	2.18	1.89	1.69	1.42	1.39	1.85	2.27
10	2.04	0.82	0.73	1.01	1.83	2.22	1.89	1.70	1.42	1.39	1.88	2.28
11	2.03	0.76	0.71	1.03	1.90	2.20	1.85	1.69	1.47	1.43	1.90	2.33
12	1.99	0.78	0.74	1.04	2.00	2.21	1.86	1.72	1.47	1.47	2.04	2.34
13	1.94	0.72	0.76	1.08	2.01	2.18	1.85	1.70	1.44	1.47	2.04	2.36
14	1.90	0.75	0.79	1.12	2.06	2.20	1.84	1.72	1.43	1.48	2.02	2.37
15	1.91	0.78	0.79	1.18	2.09	2.13	1.83	1.71	1.42	1.51	1.98	2.40
16	1.91	0.77	0.83	1.20	2.11	2.15	1.83	1.69	1.40	1.52	1.91	2.40
17	1.94	0.86	0.84	1.22	2.10	2.11	1.84	1.71	1.38	1.55	1.91	2.41
18	1.94	0.82	0.85	1.23	2.09	2.13	1.83	1.70	1.37	1.55	1.89	2.39
19	1.94	0.75	0.88	1.23	2.09	2.14	1.79	1.69	1.35	1.60	1.93	2.45
20	1.95	0.74	0.87	1.20	2.07	2.12	1.80	1.64	1.34	1.61	1.95	2.46
21	1.95	0.70	0.84	1.22	2.07	2.13	1.79	1.64	1.38	1.58	1.98	2.56
22	1.93	0.64	0.82	1.24	2.07	2.14	1.78	1.59	1.34	1.59	1.99	2.54
23	1.87	0.62	0.78	1.26	2.08	2.14	1.77	1.54	1.37	1.64	2.02	2.41
24	1.87	0.63	0.80	1.33	2.07	2.09	1.76	1.53	1.36	1.68	1.99	2.50
25	1.82	0.64	0.84	1.37	2.09	2.09	1.75	1.55	1.35	1.73	2.04	2.46
26	1.78	0.65	0.87	1.42	2.12	2.08	1.74	1.52	1.37	1.75	2.01	2.42
27	1.59	0.66	0.91	1.48	2.13	2.06	1.73	1.54	1.42	1.79	2.04	2.42
28	1.57	0.67	0.95	1.54	2.13	2.03	1.73	1.53	1.46	1.83	2.01	2.47
29	1.55		0.99	1.57	2.13	2.02	1.75	1.56	1.46	1.85	2.03	2.45
30	1.51		1.00	1.61	2.14	1.99	1.74	1.55	1.45	1.82	2.05	2.43
31	1.46		0.98		2.16		1.82	1.54		1.83		2.46
PROMEDIO	1.93	0.84	0.81	1.18	1.96	2.13	1.83	1.66	1.42	1.54	1.94	2.35
MÁXIMO	2.29	1.40	1.00	1.61	2.16	2.22	1.97	1.82	1.53	1.85	2.05	2.56
MÍNIMO	1.46	0.62	0.68	0.94	1.63	1.99	1.73	1.52	1.34	1.30	1.80	2.11

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN TEBSA - NIVELES DIARIOS PARA EL AÑO 2012
(Valores en msnm)

DÍA/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2.43	1.19	0.54	0.66	1.30							
2	2.38	1.12	0.56	0.68	1.34							
3	2.36	1.12	0.56	0.71	1.35							
4	2.37	1.12	0.62	0.72	1.44							
5	2.34	1.07	0.63	0.75	1.49							
6	2.33	1.10	0.60	0.77	1.52							
7	2.31	1.11	0.50	0.84	1.55							
8	2.31	1.07	0.40	0.84								
9	2.27	1.01	0.33	0.84								
10	2.28	0.98	0.31	0.84								
11	2.25	0.93	0.35	0.85								
12	2.22	0.90	0.40	0.86								
13	2.15	1.01	0.42	0.87								
14	2.07	1.01	0.50	0.88								
15	2.06	0.92	0.52	0.89								
16	2.01	0.89	0.39	0.86								
17	1.91	0.87	0.41	0.84								
18	1.88	0.89	0.42	0.84								
19	1.86	0.89	0.45	0.86								
20	1.83	0.83	0.48	0.95								
21	1.77	0.79	0.58	1.00								
22	1.90	0.71	0.58	1.06								
23	1.51	0.68	0.59	1.08								
24	1.64	0.63	0.60	1.15								
25	1.54	0.62	0.62	1.14								
26	1.47	0.63	0.62	1.18								
27	1.39	0.60	0.62	1.20								
28	1.29	0.56	0.61	1.24								
29	1.20	0.56	0.57	1.27								
30	1.19		0.61	1.33								
31	1.23		0.62									
PROMEDIO	1.93	0.89	0.52	0.93	1.43							
MÁXIMO	2.43	1.19	0.63	1.33	1.55							
MÍNIMO	1.19	0.56	0.31	0.66	1.30							

Anexo 2 – Información Batimétrica (2006-2017)

La información perteneciente a este anexo sólo está para consulta por medio magnético. Los archivos podrán ser visualizados en el programa AutoCAD Civil 3D.

Anexo 3 – Modelos Hidráulicos HEC - RAS

La información perteneciente a este anexo sólo está para consulta por medio magnético. Los archivos podrán ser visualizados en el programa HEC RAS v. 5.0.5.

Anexo 4 – Pruebas Chi Cuadrado (χ^2) Calibración n

La información perteneciente a este anexo sólo está para consulta por medio magnético. Los archivos podrán ser visualizados en el programa Microsoft Office Excel.

Anexo 5 – Modelo IBER 2D Escenario 1 Puente Antiguo

La información perteneciente a este anexo sólo está para consulta por medio magnético. Los archivos podrán ser visualizados en el programa IBER v 2.5.2.

Anexo 6 – Modelo IBER 2D Escenario 2 Ambos Puentes

La información perteneciente a este anexo sólo está para consulta por medio magnético. Los archivos podrán ser visualizados en el programa IBER v 2.5.2.