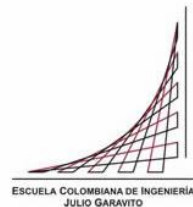


Maestría en Ingeniería Civil

**Uso de las curvas de preferencia del macroinvertebrado
Chironomidae, alimento base de la especie Eremophilus Mutisii,
con el fin de evaluar la aplicabilidad de la metodología IFIM en el
cálculo de los caudales ambientales para el río Sisga en el
departamento de Cundinamarca**

Angélica Lisbeth Preciado Palencia

Bogotá, D.C., 7 de diciembre de 2017



**Uso de las curvas de preferencia del macroinvertebrado
Chironomidae, alimento base de la especie Eremophilus Mutisii,
con el fin de evaluar la aplicabilidad de la metodología IFIM en el
cálculo de los caudales ambientales para el río Sisga en el
departamento de Cundinamarca**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Ingeniería Ambiental**

Héctor Matamoros Rodríguez

Director

**Jurado: Gladys Rocío González Leal, Germán Ricardo Santos
Granados**

Bogotá, D.C., 7 de diciembre de 2017

La tesis de maestría titulada “Uso de las Curvas de Preferencia del Macroinvertebrado Chironomidae, Alimento base de la Especie Eremophilus mutisii, con el Fin de Evaluar la Aplicabilidad de la Metodología IFIM en el Cálculo de los Caudales Ambientales para el Río Sisga en el Departamento de Cundinamarca”, presentada por Angelica Lisbeth Preciado Palencia, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental.

Héctor Matamoros Rodríguez

Director

Gladys Rocío González Leal

Jurado

Germán Ricardo Santos Granados

Jurado

Bogotá, D.C., 7 de diciembre de 2017

Dedicatoria

A mis padres

A mis hermanos

A mi compañero de vida

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a Dios por regalarme cada día la oportunidad de trabajar con esfuerzo e interés en este proyecto y cumplir un logro más en mi vida, agradezco a mis padres y hermanos por brindarme apoyo incondicional, a Diego, mi compañero de vida, por su apoyo, paciencia y consejos ofrecidos y por ser el soporte para culminar los objetivos propuestos, al ingeniero Héctor Matamoros por ser una guía constante y poner los esfuerzos necesarios para llevar a cabo el presente trabajo, al ingeniero Jairo Romero por sus enseñanzas, a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por su formación.

Resumen

El desarrollo de proyectos que implican la utilización del recurso hídrico en Colombia o en el mundo, requiere de estudios para mantener un nivel mínimo de agua que garantice el desarrollo adecuado de las especies de los ríos. En Colombia, se ha implementado el uso de la metodología IFIM en ríos de planicie, se fundamenta en una relación cuantitativa entre los parámetros físicos e hidráulicos del hábitat y la serie de caudales, pero debido a la gran biodiversidad, no es posible generalizar el uso de esta metodología para el país, sin realizar el estudio en ríos de montaña. El presente trabajo, busca aplicar la metodología IFIM por medio de modelaciones usando el software que la acompaña PHABSIM, para determinar caudales ecológicos óptimos en un tramo del río Sisga el cual corresponde a 3.2 km desde la descarga del embalse que lleva su mismo nombre hasta la desembocadura en el río Bogotá, y que por sus características se puede clasificar como río de Montaña.

En primer lugar, se llevó a cabo la recolección de información necesaria para efectuar las modelaciones en PHABSIM. La información hidrológica y topobatimétrica fue suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, (CAR), la información de curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae, siendo éste la fuente principal de alimentación del pez *Eremophilus mutisii* (capitán de la sabana), fue obtenida del trabajo "Curvas de Idoneidad de Hábitat para Macroinvertebrados Bentónicos: una Herramienta para la Estimación de Caudales Ambientales" de Cardona, (2012), ya que en Colombia no se han desarrollado trabajos de campo para la recolección de la información biológica de las especies de peces. Con la información necesaria obtenida y teniendo en cuenta que PHABSIM tiene baja capacidad de procesamiento se llevaron a cabo 10 modelos diferentes los cuales representan los 10 tramos en los cuales se tuvo que dividir el río.

Finalmente, se concluye que el uso de la metodología es de gran importancia en ríos de montaña, ya que con la ayuda del programa PHABSIM, y teniendo en cuenta parámetros físicos y de hábitat, se pueden obtener resultados confiables para la toma de decisiones.

Índice general

Capítulo 1. Justificación	21
Capítulo 2. Objetivos.....	24
2.1 Objetivo General.....	24
2.2 Objetivos Específicos	24
Capítulo 3. Marco Conceptual.....	25
3.1 Definición del Caudal Ecológico o Ambiental	25
3.2 Metodologías para el Cálculo del Caudal Ambiental o Ecológico.....	26
3.2.1 Métodos hidrológicos o de caudales históricos.	27
3.2.2 Métodos hidráulicos.....	28
3.2.3 Métodos de simulación de hábitat.....	28
3.2.4 Métodos holísticos.....	30
3.3 Metodología IFIM.....	31
3.3.1 Categorías del modelo IFIM.....	31
3.3.2 Etapas del modelo IFIM.....	32
3.4 Programa Computacional PHABSIM	37
3.4.1 Componente de simulación hidráulica.	41
3.4.2 Componente de simulación de hábitat.....	46
Capítulo 4. Descripción de las Especies en Estudio.....	49
4.1 Macroinvertebrado Chironomidae	49
4.1.1 Definición.....	49
4.1.2 Taxonomía.	50
4.1.3 Características.....	51
4.1.4 Curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae.	52
4.2 Eremophilus mutisii (Pez Capitán de la Sabana)	60

4.2.1	Definición.....	60
4.2.2	Taxonomía.	61
4.2.3	Características.....	61
Capítulo 5.	Calidad del Agua del Río Sisga	63
Capítulo 6.	Análisis Hidrológico	74
6.1	Descripción de la Zona de Estudio	74
6.2	Hoya Hidrográfica de la Zona de Estudio.....	75
6.3	Cobertura del Suelo de la Zona de Estudio	77
6.4	Análisis de la Precipitación de la Zona de Estudio	78
6.4.1	Histogramas de precipitación total mensual.....	79
6.4.2	Isolíneas de precipitación.	91
6.5	Análisis de la Temperatura de la Zona de Estudio	93
6.5.1	Histogramas de temperatura media mensual.....	94
6.5.2	Mapa de temperatura.	98
6.6	Caudales Medios Mensuales.....	100
6.7	Calculo de Caudales Ambientales	107
6.7.1	Metodología IDEAM.....	108
6.7.2	Estudio Nacional del Agua 2014, ENA.....	109
6.7.3	Variación de los porcentajes de los caudales medios diarios del punto de descarga del embalse.....	114
6.7.4	Metodología de Q90 y Q95.....	116
6.8	Topografía de la Zona de Estudio.....	116
Capítulo 7.	Caso de Estudio, Aplicación de la Metodología IFIM	119
7.1	Identificación y Diagnóstico del Problema.....	119
7.2	Planificación del Estudio	120
7.3	Implementación del Estudio.....	121

7.4	Análisis de Alternativas y Resolución del Problema.....	121
Capítulo 8. Modelación en PHABSIM		123
8.1	Alcances.....	123
8.2	Selección de la Especie a Estudiar y sus Curvas de Preferencia.....	124
8.3	Selección del Sector de Estudio y Caracterización del Hábitat	124
8.4	Selección de las Secciones Transversales y Recolección de Datos del Terreno 125	
8.5	Modelación Hidráulica	125
8.6	Modelación del Hábitat	126
8.7	Interpretación de Resultados	126
Capítulo 9. Análisis de Resultados.....		128
9.1	Resultados de la Modelación de la Lámina de Agua.....	130
9.2	Resultados de la Modelación de la Velocidad.....	146
9.3	Resultados de la Modelación del Hábitat	148
9.3.1	Resultados - WUA Results.	148
9.3.2	Resultados - Habitat Results.	157
Capítulo 10. Conclusiones y Recomendaciones		173
Capítulo 11. Bibliografía.....		179
Anexos		183

Índice de tablas

Tabla 1. Valores de Velocidad	55
Tabla 2. Valores de profundidad	56
Tabla 3. Clasificación granulométrica del sustrato	57
Tabla 4. Valores de sustrato	59
Tabla 5. Parámetros de Calidad del Agua – Río Sisga	63
Tabla 6. Valores máximos permisibles de la calidad del agua para consumo humano según Resolución 2115 del 2007	64
Tabla 7. Valores de precipitación promedio total mensual a nivel multianual de las estaciones monitoreadas por la CAR (mm).....	80
Tabla 8. Valores de precipitación promedio total mensual a nivel multianual de las estaciones monitoreadas por la IDEAM (mm).....	80
Tabla 9. Valores de temperatura media mensual a nivel multianual (°C)	94
Tabla 10. Registro de caudales medios mensuales para la Estación La Iberia	101
Tabla 11. Registro de descargas medias diarias para la Estación Embalse del Sisga ...	102
Tabla 12. Transposición de caudales medios mensuales de la estación La Iberia al sitio de descarga del embalse del Sisga	105
Tabla 13. Curva de duración de caudales – estación La Iberia	111
Tabla 14. Curva de duración de caudales – estación Represa Sisga.....	112
Tabla 15. Cálculo de caudales ambientales con la variación porcentual de los valores medios mensuales a nivel multianual para la estación Represa Sisga.....	114
Tabla 16. Cálculo de caudales ambientales con la variación porcentual de los valores medios mensuales a nivel multianual para la estación La Iberia	115
Tabla 17. Modelaciones realizadas en PHABSIM	128
Tabla 18. Resultados de WUA para el tramo del río Sisga analizado	148
Tabla 19. Caudales óptimos para los 10 modelos analizados.....	151

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de interrelación de los componentes de la metodología IFIM.	36
Figura 2. Componentes principales del programa PHABSIM.	38
Figura 3. Esquema general del funcionamiento del programa PHABSIM.....	39
Figura 4. Ilustración de las celdas que componen una sección transversal.	45
Figura 5. Clasificación taxonómica del macroinvertebrado Chironomidae.....	50
Figura 6. Forma del macroinvertebrado Chironomidae.	51
Figura 7. Ecuación y curva de preferencia base para el parámetro de velocidad.....	56
Figura 8. Ecuación y curva de preferencia base para el parámetro de profundidad.	57
Figura 9. Ecuación y curva de preferencia base para el parámetro de sustrato.	59
Figura 10. Eremophilus mutisii – Pez capitán de la sabana.	61
Figura 11. Clasificación taxonómica del pez Eremophilus mutisii.....	61
Figura 12. Comparación del parámetro Aluminio.	66
Figura 13. Comparación del parámetro Alcalinidad total.	67
Figura 14. Comparación del parámetro Cloruros.	68
Figura 15. Comparación del parámetro Dureza Total.....	69
Figura 16. Comparación del parámetro Hierro.	70
Figura 17. Comparación del parámetro Sulfatos.	71
Figura 18. Comparación del parámetro Turbidez.	72
Figura 19. Comparación del parámetro Coliformes totales.....	73
Figura 20. Localización general del río Sisga en el tramo de estudio.	75
Figura 21. Localización General de la hoya hidrográfica del río Sisga.	76
Figura 22. Hoya hidrográfica del río Sisga.	76
Figura 23. Cobertura de suelos.....	78
Figura 24. Localización de las estaciones medidoras de precipitación.....	79
Figura 25. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Represa Sisga (Cod: 2120539).....	81
Figura 26. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviográfica Saucio (Cod: 2120027).	82
Figura 27. Histograma de precipitación promedio total mensual y anula multianual para la estación climatológica principal Iberia (Cod: 2120548).	83

Figura 28. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica El Consuelo (Cod: 2120096).....	84
Figura 29. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Piscis (Cod: 2120062).....	85
Figura 30. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Panonia (Cod: 2120016).....	86
Figura 31. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación climatológica ordinaria Silos (Cod: 2120574).....	87
Figura 32. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la pluviométrica Hato Grande (Cod: 3507049).....	88
Figura 33. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Potrero Largo (Cod: 2120078).	89
Figura 34. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Tasajares (Cod: 3506017).	90
Figura 35. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica El Amoladero (Cod: 35060200).....	91
Figura 36. Isolíneas de precipitación de la hoya hidrográfica del río Sisga.	92
Figura 37. Localización de las estaciones medidoras de temperatura.	93
Figura 38. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual para la estación climatológica principal La Iberia (Cod: 2120548).....	95
Figura 39. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual para la estación climatológica principal Guatavita (Cod: 2120562).	96
Figura 40. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual para la estación climatológica ordinaria Silos (Cod: 2120574).	97
Figura 41. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual para la estación climatológica ordinaria Silos (Cod: 2120574).....	98
Figura 42. Relación de Altura vs. Temperatura Media Anual.	99
Figura 43. Mapa de temperatura del río Sisga.	100
Figura 44 Hoyas hidrográficas usadas para la transposición de caudales medios.	104
Figura 45. Histograma de caudales medios mensuales para la estación Embalse del Sisga (Cod: 2120744).....	106
Figura 46. Histograma de caudales medios mensuales para la estación La Iberia transpuestos al sitio de descarga del embalse del Sisga (Cod: 2120870).....	107

Figura 47. Diagrama de flujo para la determinación de la oferta hídrica superficial.....	110
Figura 48. Curva de duración de caudales – estación La Iberia.....	112
Figura 49. Curva de duración de caudales – estación Represa Sisga.....	113
Figura 50. Topografía de la zona y vista en planta de las secciones transversales del tramo de estudio del río Sisga.....	117
Figura 51. Secciones transversales del tramo del río Sisga analizado.....	118
Figura 52 Topografía de la zona de la descarga del embalse del Sisga.....	118
Figura 53. Perfil del río Sisga. Zonas usadas para la modelación en PHABSIM.....	129
Figura 54. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 1 – Metodología STGQ.....	130
Figura 55. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 1 – Metodología MANSQ.....	131
Figura 56. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 2 – Metodología STGQ.....	132
Figura 57 Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 2 – Metodología MANSQ.....	132
Figura 58. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 3 – Metodología STGQ.....	133
Figura 59. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 3 – Metodología MANSQ.....	134
Figura 60. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 4 – Metodología STGQ.....	135
Figura 61. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 4 – Metodología MANSQ.....	135
Figura 62. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 5 – Metodología STGQ.....	136
Figura 63. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 5 – Metodología MANSQ.....	137
Figura 64. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 6 – Metodología STGQ.....	138
Figura 65. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 6 – Metodología MANSQ.....	139

Figura 66. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 7 – Metodología STGQ.....	140
Figura 67. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 7 – Metodología MANSQ.....	140
Figura 68. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 8 – Metodología STGQ.....	141
Figura 69. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 8 – Metodología MANSQ.....	142
Figura 70. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 9 – Metodología STGQ.....	143
Figura 71. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 9 – Metodología MANSQ.....	143
Figura 72. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 10 – Metodología STGQ.....	144
Figura 73. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 10 – Metodología MANSQ.....	145
Figura 74. Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+000 del Modelo No. 1.....	147
Figura 75. Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+028 del Modelo No. 1.....	147
Figura 76. Resultados de WUA para el tramo del río Sisga analizado.	149
Figura 77. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 1 y el caudal óptimo seleccionado.....	154
Figura 78. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 2 y el caudal óptimo seleccionado.....	154
Figura 79. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 3 y el caudal óptimo seleccionado.....	155
Figura 80. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 4 y el caudal óptimo seleccionado.....	155
Figura 81. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 5 y el caudal óptimo seleccionado.....	156
Figura 82. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 7 y el caudal óptimo seleccionado.....	156

Figura 83. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 10 y el caudal óptimo seleccionado.....	157
Figura 84 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 1 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	158
Figura 85 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 1 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 3D.	158
Figura 86 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 2 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	159
Figura 87 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 2 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 3D.	160
Figura 88 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 3 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	161
Figura 89 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 3 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 3D.	161
Figura 90 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 4 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	162
Figura 91 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 4 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 3D.	163
Figura 92 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 5 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	164
Figura 93 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 5 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	164
Figura 94 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 6 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	165
Figura 95 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 6 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 3D.	166
Figura 96 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 7 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	167
Figura 97 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 7 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 3D.	167
Figura 98 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 8 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	168

Figura 99 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 8 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 3D.	169
Figura 100 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 9 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	170
Figura 101 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 9 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 3D.	170
Figura 102 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 10 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 2D.	171
Figura 103 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 10 y para el caudal de 0.27 m ³ /s – 3D.	172

Índice de anexos

Anexo 1. Información Climatológica CAR e IDEAM.

Anexo 2. Modelación Hidráulica usando el Programa Computacional HEC – RAS.

Anexo 3. Manual de Uso del Programa Computacional PHABSIM.

Anexo 4. Modelación de Hábitat usando el Programa Computacional PHABSIM.

Anexo 5. Resultados de la modelación de la velocidad

Introducción

Uno de los principales efectos que se presentan al intervenir una fuente hídrica es el cambio en el régimen de los caudales, afectando a las especies que habitan en la zona. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, (2015) el concepto de caudal ambiental, se refiere al caudal mínimo que debe mantenerse en un curso fluvial al construir una represa, captación o derivación, de forma que, no se alteren las condiciones naturales del biotopo y se garantice el desarrollo de una vida fluvial igual, o al menos similar, a la que existía en el río.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como propósito brindar una guía para el cálculo de los caudales ambientales en ríos de montaña para Colombia, integrando aspectos hidrológicos, hidráulicos y biológicos (curvas de preferencia de las especies del hábitat), teniendo en cuenta que, el país cuenta con gran diversidad climatológica y de fauna y que solamente se han usado los métodos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (IDEAM) y de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, (ANLA), los cuales tienen en cuenta solo aspectos hidrológicos, hidráulicos o ecológicos pero no una integración de estos.

El proyecto, es de vital importancia, ya que el uso del agua de las fuentes hídricas en Colombia para diversos proyectos es cada vez más común y poco se tiene cuenta la afectación causada al hábitat que constituyen estas fuentes hídricas.

La condición tropical de Colombia por estar ubicada en la zona del Ecuador, permite que se desarrolle una gran variedad de ecosistemas, así como la presencia de un gran número de especies que los habitan. Con relación a las especies de peces, Colombia, posee aproximadamente 1600 especies de agua dulce y 1200 especies de mar y “es el segundo país con mayor biodiversidad de la Tierra, entre 195 naciones, y el número uno en el ámbito mundial en especies de flora y fauna por kilómetro cuadrado” (Bastidas & Lemus, 2014). Además, y según esta condición, el país también cuenta con diversidad de pisos térmicos pasando desde el piso térmico cálido cuyas zonas se encuentran sobre el nivel del mar

hasta el piso término páramo ubicado a 3000 msnm, lo que hace que la morfología de los ríos cambie, permitiendo encontrar ríos de montaña¹ y ríos de planicie².

Las condiciones de diversidad de ecosistema, fauna, pisos térmicos y morfología de los cuerpos de agua que posee Colombia, hace necesario que el cálculo del caudal ambiental deba ser medido en cada una de sus zonas, es decir, no es apropiado usar una metodología de forma general para el país. Debido a que en Colombia ya se realizó un estudio de la metodología IFIM para el cálculo de caudales ambientales para ríos de planicie y como se muestra en Parra, (2012). El presente trabajo tiene como fin analizar el uso de esta metodología en el cálculo de caudales ambientales para un río de montaña, tomando al río Sisga ubicado en el municipio de Chocontá, departamento de Cundinamarca como característico de las condiciones de altiplanicie y piso térmico frío.

Inicialmente, en el Capítulo 1 se presenta la justificación y la situación problema a la cual se dará solución mediante la realización del proyecto.

El Capítulo 2, muestra los objetivos generales y específicos del proyecto.

En el Capítulo 3 se realiza el desarrollo del marco conceptual en el cual se incluye algunas definiciones del concepto de caudal ambiental, una descripción de algunas metodologías que se usan para el cálculo del caudal ambiental, haciendo énfasis en la descripción de la metodología IFIM y su programa computacional de apoyo PHABSIM, la cual ha sido seleccionada para realizar el proyecto, por ser una metodología que integra los aspectos hidrológicos, hidráulicos y ecológicos; incluso se pueden considerar aspectos económicos.

En el Capítulo 4 se presenta la descripción de la especie en estudio la cual hace referencia a las características del macroinvertebrado Chironomidae y el pez *Eremophilus mutisii*

¹ Ríos de montaña: cuerpo de agua que se encuentran en las zonas montañosas. Poseen altas pendientes longitudinales por lo cual la velocidad de estos cuerpos de agua es alta. Además, esta condición de velocidad alta permite el transporte de sedimentos y de material como rocas. Son ríos con anchos pequeños (FAO, 1980).

² Ríos de planicie: son los cuerpos de agua ubicados en las llanuras y planicies de anchos mayores a los ríos de montaña. Los materiales encontrados en su lecho son finos. En los ríos de planicie las corrientes son lentas (velocidades bajas) (FAO, 1980).

conocido como pez capitán de la sabana, especies que ocupan los niveles más altos en la escala trófica del ecosistema del río Sisga.

El Capítulo 5, lleva a cabo el análisis de la calidad del agua del río Sisga y sus zonas aledañas con el fin de tener un conocimiento más amplio del hábitat del macroinvertebrado analizado.

En el Capítulo 6 se realiza el análisis hidrológico (análisis de precipitación, temperatura y caudales medios) de la zona de estudio seleccionada para el desarrollo del presente proyecto, corresponde a la cuenca del río Sisga ubicado en el municipio de Chocontá, Cundinamarca. Además, con base en la información de caudales ambientales, se llevan a cabo los cálculos de caudal ambiental por medio de diferentes metodologías según la normatividad vigente para Colombia.

El Capítulo 7, desarrolla de manera específica la aplicación de la metodología IFIM para el caso de estudio.

En el Capítulo 8, se desarrolla la modelación del caso de estudio en el programa computacional PHABSIM siguiendo las siete etapas en las que se divide.

En el Capítulo 9, se presenta el análisis de resultados de la modelación realizada. Este análisis se lleva a cabo para los tres componentes de PHABSIM: modelación de la lámina de agua, modelación de la velocidad y modelación del hábitat.

El Capítulo 10, muestra las conclusiones y recomendaciones obtenidas de los resultados del proyecto, y

Finalmente, en el Capítulo 11 se presentan las referencias bibliográficas usadas para llevar a cabo el análisis del presente trabajo.

Capítulo 1. Justificación

El desarrollo de proyectos que impliquen la utilización del recurso hídrico en Colombia o en el mundo, requiere de estudios que permitan mantener un nivel mínimo de agua, y que garantice el desarrollo adecuado de las especies de los ríos. En la actualidad, se cuenta con variadas metodologías que tienen en cuenta aspectos hidrológicos e hidráulicos y otras que, además, poseen un enfoque ecológico de simulación de hábitat fluvial y holísticas o funcionales. En Colombia, se han utilizado metodologías que tienen en cuenta aspectos hidráulicos e hidrológicos, según lo presentado por Cardona, (2012), solo se ha implementado la metodología IFIM y el software que la acompaña PHABSIM, metodología de simulación de hábitat que tiene en cuenta parámetros biológicos de las especies (las curvas de preferencia de las especies) en ríos de planicie, pero, debido a la gran biodiversidad del país, no es posible generalizar el uso de esta metodología, sin realizar el estudio en ríos de montaña. El presente trabajo, busca entonces, aplicar la metodología IFIM para determinar caudales ecológicos óptimos en el río Sisga, que por sus características se puede clasificar como río de Montaña. Entonces, ¿Qué información y como se debe plantear el uso y la aplicabilidad de la metodología IFIM para la definición de los caudales ambientales en ríos de montaña?

El problema planteado es pertinente para el desarrollo en el marco de la Maestría, ya que, es una base para el desarrollo de los proyectos que requieran el uso del agua de las fuentes hídricas de montaña en Colombia minimizando el problema de la afectación del hábitat de las especies de estas fuentes hídricas. En Colombia, el desarrollo de proyectos de este tipo es cada vez mayor, por eso, en vez de restringir el desarrollo del país, es importante brindar una ayuda con la cual se evalúen los factores hidrológicos, hidráulicos y bióticos para poder llevar a cabo los proyectos minimizando la afectación a la fauna de nuestro país.

A medida que crece un país, con él crece su desarrollo social, económico y cultural, impulsando el desarrollo de la industria, el comercio. Esta situación produce el aumento de la demanda de agua, insumo fundamental para el avance de todas las actividades. Pero, como toda acción conlleva a una reacción, la afectación al hábitat de las fuentes hídricas es uno de los problemas principales que se presentan con el desarrollo de Colombia.

En Colombia, se han desarrollado proyectos en los cuales se intervienen cuerpos de agua (hidroeléctricas), y conlleva a un cambio en el régimen de los caudales de esta fuente hídrica. Se ha observado que estos cambios generan afectación es a los ecosistemas de las zonas intervenidas y por ende a las especies que habitan allí. Por esta razón, actualmente al desarrollar este tipo de proyectos se debe tener en cuenta que durante la intervención al cauce se debe mantener un caudal mínimo con el fin de garantizar la supervivencia y dinámica de las especies que habitan en los ecosistemas afectados, en otras palabras, se debe tener presente el caudal ambiental.

El desarrollo del presente trabajo se basa en el uso de la metodología IFIM para el cálculo de caudales ambientales óptimos la cual es una metodología que integra factores hidrológicos, hidráulicos y bióticos, considerándose que siempre será mejor que aquellas metodologías que tiene en cuenta un solo factor. Además, esta metodología ha sido aplicada en diferentes países de forma exitosa como en Chile, España e inclusive en Colombia como es el caso de Parra, (2012) y Diez & Ruiz, (2007).

Por otro lado, para realizar el cálculo del caudal ambiental se debe tener en cuenta que Colombia posee gran variedad de ecosistemas, fauna y pisos térmicos debido a su ubicación geográfica, lo que hace que no sea apropiado usar una metodología de forma general en todo el país. Por tal razón en el presente trabajo se analizará la aplicabilidad de la metodología IFIM en un río de montaña (río Sisga) ya que ésta metodología se ha aplicado en ríos de planicie tal y como se presenta en (Parra, 2012). Este cálculo estará basado en la información hidrológica y topobatemétrica suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, y en la información de curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae, siendo éste la fuente principal de alimentación del pez *Eremophilus mutisii* (capitán de la sabana) y obtenida de Cardona, (2012).

Debido a que en Colombia no se han llevado a cabo muestreos y trabajo de campo con especies de peces de los diferentes ríos de montaña, esta tesis estará basada en información biológica secundaria recolectada para el macroinvertebrado Chironomidae, siendo éste la fuente de alimentación del *Eremophilus mutisii*.

Al no poseer información alguna acerca de las especies de peces, y al identificar que los macroinvertebrados son más susceptibles que los peces a cambios en el hábitat, se llegó

a la conclusión, como se puede observar en el trabajo “Curvas de Idoneidad de Hábitat Para Macroinvertebrados Bentónicos: Una Herramienta Para La Estimación De Caudales Ambientales”, que caudal suficiente para las especies de peces también lo es para los macroinvertebrados bentónicos.

El proyecto se plantea con el fin de brindar una solución al problema en el que se relaciona de forma directa el desarrollo de proyectos de aprovechamiento hídricos en el país con la afectación al hábitat del cauce intervenido, generando así, un desarrollo sostenible en el que seres humanos y ecosistemas se relacionen de tal manera que no se presente interferencia con el avance de la sociedad y no se generen pérdidas de especies y disminución de caudal en la fuentes hídricas afectando el equilibrio del medio en el que habitamos.

De otra parte, se ha tomado el río Sisga porque su régimen de caudales en el tramo de estudio está definido por las descargas controladas del embalse del Sisga y es necesario definir cuál debe ser el caudal ecológico que se debe mantener aguas abajo para así garantizar la supervivencia del Capitán de la Sabana en dicho cuerpo de agua.

Capítulo 2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar la aplicabilidad de la metodología IFIM en el cálculo de los caudales ambientales óptimos para ríos de montaña, haciendo uso de las curvas de preferencia del Macroinvertebrado Chironomidae, el cual es el alimento base del *Eremophilus mutisii*, una de las especies más comunes en el río Sisga.

2.2 Objetivos Específicos

Hacer un análisis de la metodología IFIM para el cálculo de los caudales ecológicos óptimos.

Hacer un análisis del software PHABSIM para determinar su aplicabilidad teniendo en cuenta la información recolectada, la biodiversidad colombiana y el régimen de caudales para la zona de estudio.

Evaluar el uso de las curvas de preferencia del Macroinvertebrado *Chironomidae*.

Realizar la recolección de información necesaria a partir de bibliografía de las especies de peces y macroinvertebrados que habitan en el río Sisga, teniendo en cuenta que en Colombia se presenta diversidad de clima y de fauna.

Recolectar información física e hidrológica de la zona de estudio.

Determinar a partir de los modelos realizados si los resultados obtenidos son apropiados para el caso de análisis.

Determinar el caudal ecológico del río Sisga mediante la metodología IFIM y el uso del software PHABSIM.

Capítulo 3. Marco Conceptual

En el presente capítulo, se describen los aspectos más importantes que se tienen en cuenta para el desarrollo del trabajo. Se realiza la definición del caudal ambiental, la descripción de algunas de las metodologías existentes para el cálculo del caudal ambiental y se presenta el concepto y las principales características de la metodología Instream Flow Incremental Methodology, de ahora en adelante IFIM por sus siglas en inglés y su programa computacional de apoyo PHABSIM.

3.1 Definición del Caudal Ecológico o Ambiental

Aunque la definición de caudal ecológico en general es la misma, es decir, se refiere a un caudal mínimo que se debe mantener en un cuerpo de agua para garantizar el ecosistema y las especies que habitan en él, en la literatura se encuentran muchas definiciones en las cuales se tiene en cuenta aspectos como la calidad del agua, el desarrollo industrial, entre otros, y cuya definición ha cambiado a través del tiempo. Algunas definiciones de caudal ecológico que se pueden encontrar en entidades colombianas y en trabajos de grado realizados, a continuación, se presentan algunas que a juicio del autor son relevantes:

- Flujo de agua requerido para mantener las necesidades de los ecosistemas acuáticos existentes en un área de influencia antrópica que modificará los caudales naturales de un río o quebrada. Los caudales ecológicos son escurrimientos que se dejan fluir por el río para preservar la integridad ecológica sin menoscabo del desarrollo de los habitantes (Parra, 2012).
- Provisión de agua en los ríos y sistemas asociados de suficiente calidad, cantidad, duración y estacionalidad, para mantener los ecosistemas acuáticos y los humedales. Por su parte, el concepto de caudal ambiental considerado en este trabajo, va más allá, e incluye la suficiente agua en los ríos para asegurar, además del funcionamiento ecológico, beneficios

ambientales, sociales y económicos aguas abajo (UNAL, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).

- Es el flujo mínimo de agua y necesario, para mantener la biota acuática y los procesos ecosistémicos, y asegurar la supervivencia y dinámica de las especies que habitan un cuerpo de agua determinado, teniendo en cuenta que éste se va a ver afectado por la realización de un proyecto (Gómez & Mosquera, 2010).
- Caudal mínimo que debe mantenerse en un curso fluvial al construir una represa, captación o derivación, de forma que no se alteren las condiciones naturales del biotopo y se garantice el desarrollo de una vida fluvial igual, o al menos similar, a la que existía en el río (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, s.f.)
- Es el agua reservada para preservar valores ecológicos, los hábitats naturales que cobijan riqueza de flora y fauna, las funciones ambientales como purificación de aguas, amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos, los parques naturales y la diversidad de paisajes (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, s.f.).

Las definiciones mencionadas, solo hacen parte de una larga lista de definiciones que existen en la literatura. Sin embargo, con base en estas definiciones se puede definir el caudal ecológico como: la cantidad de agua mínima requerida bajo condiciones óptimas de calidad con las cuales se garantiza a los ecosistemas la supervivencia de las especies sin intervenir en su entorno ni restringir el desarrollo de proyectos con los cuales se va a ver afectado el cuerpo de agua.

3.2 Metodologías para el Cálculo del Caudal Ambiental o Ecológico

Como se ha mencionado, existen diversas metodologías para el cálculo del caudal ecológico, las cuales tiene en cuenta aspectos hidrológicos, hidráulicos, de calidad del agua, entre otros.

Por otro lado, para el uso de alguna de las metodologías es necesario conocer y comprender el problema al cual se le quiere dar solución, la validación científica de la misma y los recursos económicos disponibles, ya que cada una de ellas son diferentes y no son aplicables a todos los casos de estudio, debido a que cada río o fuente de agua posee características diferentes.

Con el uso de una o varias de las metodologías existentes se busca la regulación de los caudales de los cauces garantizando un mínimo que permita la sostenibilidad del medio ambiente y el desarrollo industrial. Según Parra, (2012), las características de las metodologías cuantitativas se concentran en cuatro grupos dependiendo de su enfoque metodológico, como se presentan a continuación.

3.2.1 Métodos hidrológicos o de caudales históricos.

Este método se fundamenta en las series hidrológicas históricas del río y son considerados como los métodos más sencillos que existen en la actualidad. Consisten en el análisis de los registros históricos de caudal del río y calcular un caudal mínimo suficiente para mantener las características fluviales del cauce. Las metodologías hidrológicas más conocidas y usadas son:

- Método de Tennant o Montana: el caudal ecológico es calculado a partir de parámetros estadísticos representativos de la zona.
- Método del Rango de Variabilidad (RVA): en este método se tienen en cuenta 32 parámetros que indican la variación hidrológica de la zona dependiendo de la época del año en el cual se quiera calcular el caudal ecológico, con el fin de que el comportamiento se asemeje al natural.

Con los métodos hidrológicos o de caudales históricos se considera que el valor del caudal ecológico es un porcentaje fijo del caudal medio anual.

En Colombia, y según la resolución 864 de 2004 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el IDEAM toma en cuenta esta metodología considerando que “El caudal ecológico corresponde al 25% del caudal medio mensual multianual más

bajo registrado en la corriente objeto de estudio” o, considerando “la estimación de un caudal ecológico constante definido como el caudal promedio multianual de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97.5% del tiempo y cuyo periodo de recurrencia es de 2.33 años” (Cabra & Corradine, 2014).

3.2.2 Métodos hidráulicos.

Estos métodos además de tener en cuenta la información hidrológica de la zona, tienen en cuenta variables asociadas a la morfología del río tales como la velocidad, la profundidad y el ancho superficial del cauce. Uno de los métodos más conocidos es el método del Perímetro Mojado, el cual se refiere a la línea de contacto entre el agua y el lecho, plantea que el punto de inflexión de la relación que existe entre el perímetro mojado y el caudal del río es el punto en el cual se maximiza el hábitat que puede ser usado por las especies de la zona.

Otro de los métodos, es el de lo Transectos Múltiples (entendiéndose como transecto una sección transversal del río). En este método se tienen en cuenta varias secciones transversales en donde se mide la velocidad, el nivel, el sustrato y la cobertura del río para diferentes caudales, valores, que luego son modelados para determinar los cambios en estas variables y analizar la habitabilidad del río en estudio dependiendo de las variaciones del caudal.

3.2.3 Métodos de simulación de hábitat.

Se fundamenta en aspectos geomorfológicos, procesos fisicoquímicos, variables biológicas poblacionales de las especies (preferencia de hábitat) y tiene en cuenta series históricas de caudal. Se utiliza para realizar el cálculo del caudal ecológico (cálculo que no resulta tan sencillo debido a los componentes en los que se basa). Existen dos metodologías que son las más conocidas:

- Método de Thoms y Sheldom: es un método basado en la geomorfología y plantea 4 pasos para el establecimiento del caudal ecológico: i) determinación del hábitat del sistema, ii) Determinación de los caudales asociados con los principales hábitats físicos y las funciones ecológicas, iii) Identificación de conductores hidrológicos claves del sistema ribereño y determinación de las implicaciones del uso de los recursos hídricos y, iv) Establecimiento de opciones de manejo del caudal teniendo en cuenta las características hidrográficas del río para determinar sus opciones de extracción (Parra, 2012).
- Método IFIM: se basa en una relación cuantitativa entre los parámetros físicos e hidráulicos del hábitat y la serie de caudales. Esta relación se realiza mediante el programa computacional PHABSIM en el cual se realiza una modelación de los cambios del caudal, la calidad y la temperatura del agua y la disponibilidad de hábitats. Según el ingeniero Juan Manuel Diez Hernández “Esta metodología tiene como base la interdisciplinariedad para lograr un adecuado ordenamiento del agua superficial teniendo un profundo enfoque” (Gómez & Mosquera, 2010).

Se trata de un marco conceptual y analítico completo que incorpora enfoques Ecohidráulicos y Ecohidrológicos avanzados, con el objeto de evaluar los efectos que provocan cambios incrementales de caudal en la estructura del cauce, la calidad del agua, la temperatura y la disponibilidad de hábitat físico utilizable, utilizando una combinación de datos hidráulicos, hidrológicos y biológicos. Si bien IFIM fue concebida para ser aplicada en pequeñas corrientes salmonícolas del oeste de EEUU, su empleo se ha extendido ampliamente a zonas disimilares.

Este método es descrito de forma más específica en el numeral 3.3.

3.2.4 Métodos holísticos.

Son también conocidos como métodos funcionales, constituyen una visión global del río y fueron desarrollados principalmente en Australia y Sudáfrica. Estos métodos tienen como principio, que los caudales son el soporte básico del ecosistema de los ríos. Se fundamentan en dos enfoques: i) aproximación “bottom-up” (los métodos son diseñados para construir un régimen de caudal modificado mediante la adición de componentes de caudal a una línea base de caudal cero) y ii) aproximación “top-down” (abordan la pregunta ¿Cuánto se puede modificar el régimen de caudal de un río antes de que los ecosistemas acuáticos cambien notablemente o se degraden seriamente?), tal como se menciona en UNAL, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2008). Dentro de los métodos holísticos más representativos, se tiene:

- Método de Evaluación por Grupo de Expertos (EPAM): es un método del tipo bottom-up en el cual se tiene como finalidad, como su nombre lo indica, que un grupo de expertos en diversos temas tales como geomorfología, ecología, entre otros, determinen cuales serían los cambios en el ecosistema debido a los efectos de los cambios del caudal.
- Método de Evaluación por Equipo Científico (SPAM-Australia): es un método del tipo bottom-up, además de que, se trata de la evaluación de un grupo de expertos, incorpora la recolección de información primaria (en campo) y la interpretación de los datos en la zona de proyecto.
- Método de Aproximación Holística: también es un método del tipo bottom-up, tiene en cuenta las características completas del río tales como el área de inundación, el agua subterránea de la zona, entre otros.
- El Building Block Methodology (BBM): en este método se pretende realizar una evaluación rápida del sitio de estudio. Propone un régimen de caudal en el cual se tiene en cuenta la variación natural del río. Fue desarrollada en Sur África y al igual que las metodologías anteriores se tiene un equipo de trabajo con expertos en varios temas.

3.3 Metodología IFIM

La metodología Instream Flow Incremental Methodology o metodología IFIM (por sus siglas en inglés), fue desarrollada por Bovee y Milhous en el año 1978 para el departamento de Pesca y Vida Silvestre de EEUU, U.S. Fish and Wildlife Service, esta metodología, mediante el uso de una simulación hidráulica, permite establecer “una relación funcional entre el caudal y el hábitat físico utilizable por los organismos objetivos, para evaluar el efecto de una alteración hidrológica en la integridad de la biocenosis” (García, 2013), en otras palabras, el uso de la metodología IFIM “permite obtener, para distintos caudales en el río y un determinado estado de desarrollo, una medida del hábitat utilizable por una especie que se desea preservar (objetivo)” (Universidad de Chile, 1998).

Según Mayo, (2000) la aplicación de IFIM supone la combinación de varias disciplinas: hidrología, hidráulica, ingeniería, geomorfología fluvial, química del agua, biología y ecología, lo que hace que esta sea una metodología de simulación de hábitat fluvial por la interacción de los aspectos con los cuales trabaja.

Esta metodología consta de cinco categorías y cuatro etapas o fases interrelacionadas según Espinoza & Pardo, (2001) y Universidad de Chile, (1998), tal como se describen a continuación.

3.3.1 Categorías del modelo IFIM.

- Régimen hidrológico del cauce: es el caudal en el río o cauce como función del tiempo, es esencial para el desarrollo de la metodología. Su análisis se realiza para las condiciones naturales y en la cual el río se encuentra con alguna intervención.
- La estructura del hábitat: es la combinación entre la forma, propiedades hidráulicas e información hidrológica del cauce, y modelos matemáticos de variables hidráulicas de la zona, tales como la profundidad y ancho del cauce

y la velocidad de la corriente. Esta categoría es incorporada mediante el programa PHABSIM.

- La calidad del agua: es una categoría externa al modelo, y puede calcularse mediante otros programas matemáticos, mediante la recolección de información como la calidad del agua actualmente y los procesos químicos por los cuales está siendo afectada la corriente de agua. Se debe tener en cuenta que el uso de la metodología IFIM no es aplicable para aguas de descargas como aguas de alcantarillado.
- Fuentes de alimentación y energía e interacciones bióticas: se han tenido en cuenta recientemente con el fin de mejorar la capacidad predictiva de los componentes biológicos incluyendo modelos de crecimiento de población para la predicción del comportamiento de las especies con las cuales se está realizando el estudio.

3.3.2 Etapas del modelo IFIM.

1. Identificación y diagnóstico del problema:

En esta etapa se tiene en cuenta el tipo de problema que se puede resolver usando la metodología IFIM, además del manejo que se le debe dar a los recursos hídricos. La etapa de identificación y diagnóstico del problema está compuesta por dos procesos:

- El primero es el análisis legal e institucional de la identificación del problema y el contexto del mismo. Durante este proceso, se identifican las principales características del problema que se va a evaluar además de los intereses de las partes e instituciones involucradas.
- El segundo elemento es la definición física del ecosistema objeto de estudio, a través de la definición de la ubicación geográfica de la zona, las características físicas y químicas del ecosistema, la descripción del cuerpo de agua que se va a analizar y los objetivos a seguir.

2. Planificación del estudio:

Se realiza un análisis comparativo de la información que se requiere para llevar a cabo la modelación y que está disponible, esto, para que el trabajo se lleve de forma organizada durante un tiempo óptimo y obtener resultados aceptables para cada una de las partes interesadas. Para realizar una buena planificación del estudio, es necesario conocer y entender los objetivos y el tiempo necesario para el mismo, la información requerida y apropiada, el nivel de análisis espacial y temporal al cual se quiere llegar, la responsabilidad de cada uno de los actores involucrados en el estudio y el presupuesto requerido.

Finalmente, lo que se espera como resultado de esta etapa, es un documento escrito donde se especifique el quien, cuándo, dónde, cómo y cuánto del proyecto que se está llevando a cabo, la etapa de planificación la desarrolla un grupo de trabajo interdisciplinario, siempre unificando las necesidades mencionadas mediante la recopilación de información.

3. Implementación del estudio:

La etapa de implementación, permite la recopilación de la información, la calibración de cada uno de los modelos que se van a usar para el cálculo de los datos externos al programa y el análisis de los resultados obtenidos por el uso de los modelos.

Durante esta etapa, se seleccionan los puntos de muestreo y se realiza la recolección de información en campo, tales como, las características físico químicas del agua y del ecosistema a analizar. En esta etapa se menciona que la metodología IFIM tiene como apoyo para la modelación el programa computacional PHABSIM para simulaciones hidrológicas, hidráulicas y biológicas.

4. Análisis de alternativas y resolución del problema:

Se realiza un análisis hidrológico de las condiciones que sirven como punto base. Cada uno de los actores involucrados presenta alternativas del manejo del cuerpo de agua las cuales son comparadas con la definida como punto base, esto, permite el análisis de los impactos que tienen cada una de las alternativas propuestas sobre el ecosistema objeto de estudio. De los aspectos a tener en cuenta se relacionan los siguientes:

- Efectividad: se analiza si las alternativas cumplieron con los objetivos planteados, el impacto generado al ecosistema y las ventajas y desventajas de cada alternativa.
- Factibilidad técnica: se analiza si con la implementación de alguna de las alternativas se generan problemas de derechos de agua, si hay posibilidad de inundaciones en las zonas aledañas y la cantidad de agua disponible antes y después de la implementación de la alternativa.
- Riesgo: se evalúan los riesgos que se pueden presentar a nivel biológico al implementar alguna de las alternativas propuestas.
- Recursos disponibles: se determinan cuáles serán los costos y beneficios de la implementación de alguna de las alternativas.

Finalmente, y después de llevar a cabo cada una de las etapas, es posible analizar las alternativas propuestas y si estas dan respuesta al problema planteado. De no ser así, se pueden tener en cuenta nuevas alternativas para cumplir con los objetivos iniciales.

Asimismo, al ser una modelación que tiene en cuenta varios factores, se puede tener un grado de incertidumbre en cuanto a la información existente, lo que permite que no se presenten resultados adecuados (Universidad de Chile, 1998). Algunas incertidumbres que se pueden presentar son las siguientes:

- Existe información como la biológica, que no se puede medir de forma completa, o la de tipo económico que no es exacta en su totalidad.

- Los modelos de simulación utilizan una serie de supuestos los cuales no siempre son válidos o representativos de la zona que se va a estudiar.
- Se presenta incertidumbre sobre el comportamiento hidrológico de la zona de estudio, además del sistema hídrico del cuerpo de agua analizado.

En la Figura 1, se presenta el diagrama de flujo que muestra la interrelación de los componentes de la metodología IFIM, tomado de Gómez & Mosquera, (2010).

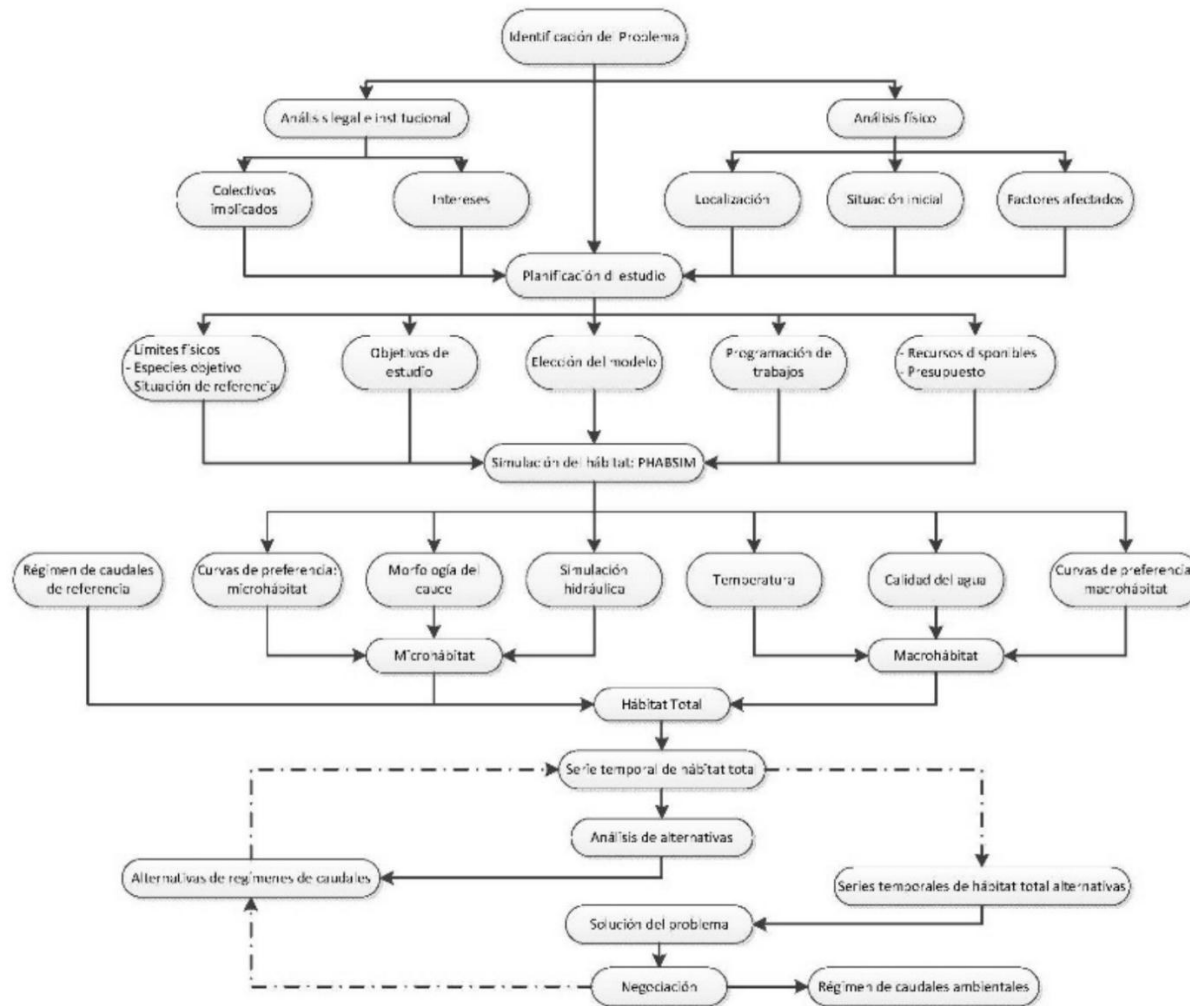


Figura 1. Diagrama de interrelación de los componentes de la metodología IFIM.
Fuente: (Gómez & Mosquera, 2010)

3.4 Programa Computacional PHABSIM

El programa computacional Physical Habitat Simulation System, PHABSIM (de libre acceso), es el software usado por la metodología IFIM y fue desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) con el fin de traducir los cambios de un flujo dependiente de componentes físicos a un valor estimativo de la calidad y la cantidad de microhábitat para los organismos que habitan la zona.

Según lo expuesto en Millous & Waddle, (2012),

El propósito del sistema de simulación física del hábitat (PHABSIM) es simular una relación entre el caudal y el hábitat físico para diversas etapas de la vida de una especie de pez o una actividad recreativa. El objetivo básico de la simulación física del hábitat es obtener una representación del flujo físico de manera que la corriente puede estar vinculado, a través de consideraciones biológicas, con el mundo social, político y económico.

El software, cuenta con dos componentes como lo son las simulaciones hidráulicas y las ecológicas, con las cuales, finalmente, se obtendrán los resultados de un hábitat disponible para la especie analizada, de manera resumida, estos componentes se representan en la Figura 2.

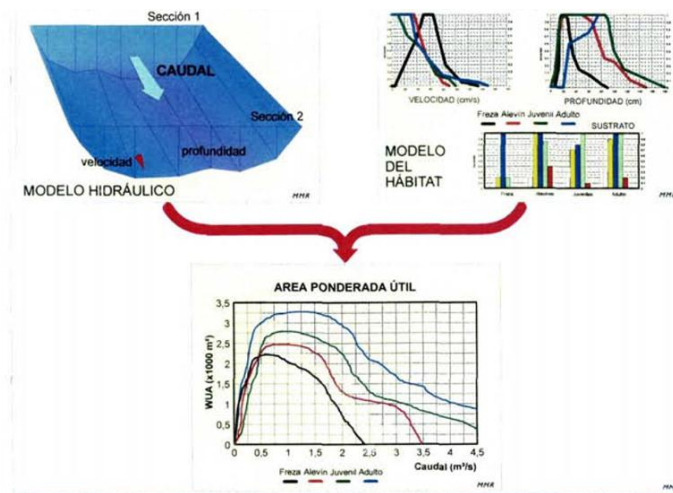


Figura 2. Componentes principales del programa PHABSIM.
Fuente: (Mayo, 2000)

PHABSIM, es un conjunto de modelos matemáticos en los cuales se supone que la disponibilidad de hábitat físico es la condición principal del desarrollo de las actividades de las especies que habitan en la zona, aunque “existen otros factores que pueden regular una población, como la: disponibilidad de alimento, proximidad de las zonas de freza, calidad del agua, competencia y predación” (Parra, 2012). PHABSIM, tiene en cuenta el Hábitat Físico Total (HT) como un indicador del desarrollo y estilo de vida de las especies del río, adicional, se supone que las especies de la zona tienen la facilidad de reaccionar a los cambios que se presentan en el cauce.

En la Figura 3, se presenta el esquema general del funcionamiento del programa PHABSIM y la relación de sus componentes hidráulico y ecológico. Este diagrama de flujo es realizado con base en la información presentada por la Universidad de Chile, (1998).

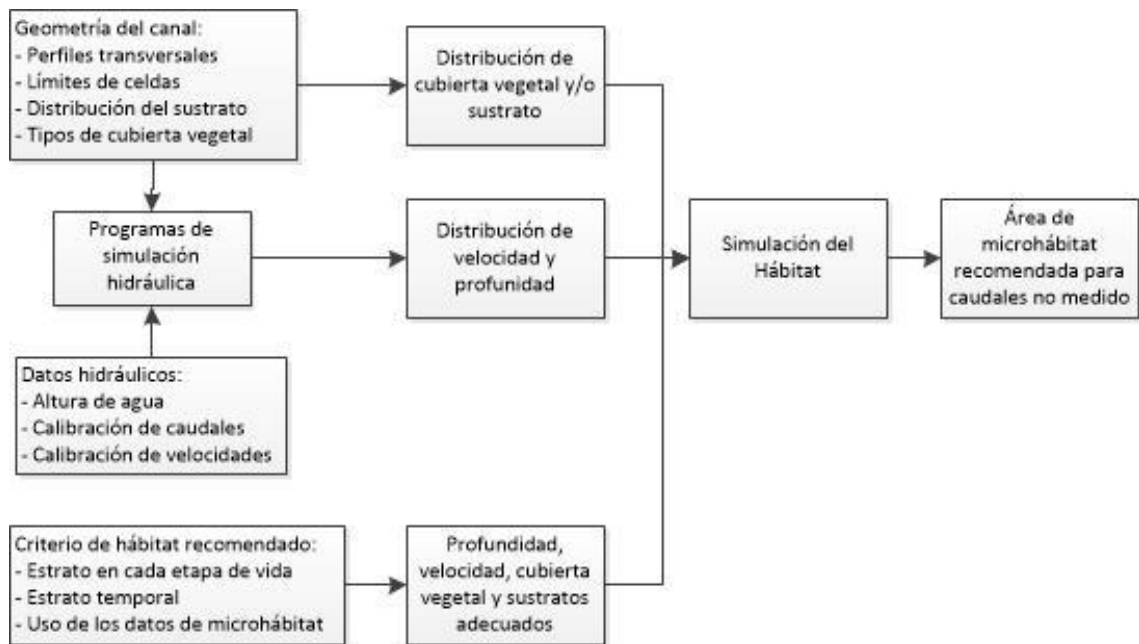


Figura 3. Esquema general del funcionamiento del programa PHABSIM.
Fuente: (Universidad de Chile, 1998)

Por otro lado, la aplicabilidad del programa computacional PHABSIM se encuentra dividida en siete etapas como se describe en Universidad de Chile, (1998):

1. Alcances:

Dentro del alcance se debe presentar la delimitación del proyecto teniendo en cuenta aspectos como: la claridad de los objetivos, la claridad en la identificación del área de estudio, la determinación de los factores limitantes para la modelación (falta de información) y la selección de la (s) especie(s) a evaluar.

2. Selección de la especie a estudiar y sus curvas de preferencia:

La especie a estudiar junto con sus curvas de preferencia, es uno de los componentes más importantes de la modelación por medio de PHABSIM, esta información permite analizar el impacto físico en el desarrollo de la especie

estudiada. Como se observa en la Figura 1, esta es la información que el programa reconoce como Microhábitat.

3. Selección del sector de estudio y caracterización del hábitat:

Se realiza la selección del área de estudio teniendo en cuenta factores como: la identificación de 1 o más tramos críticos (sectores del río que son más sensibles a los cambios) y la selección de las secciones transversales del sector seleccionado. Lo anterior, depende de las características del estudio que se desee realizar.

4. Selección de las secciones transversales y recolección de datos del terreno:

Llevando a cabo la etapa No. 3, se determina el número y la ubicación de las secciones transversales del tramo de río que se va a analizar. Además, se realiza la recolección de información la cual incluye: características de la topografía del terreno, información del sustrato o material de fondo, mediciones de velocidad, entre otros.

5. Modelación hidráulica:

Cuando se realiza la modelación hidráulica, se debe tener en cuenta que PHABSIM hace la suposición de que la forma del cauce no cambia a lo largo del tramo analizado. En caso de que la forma del cauce varíe, es necesario realizar levantamientos topográficos cada vez que se presenten cambios drásticos. Por otro lado, la modelación hidráulica se compone de dos fases: el cálculo del nivel de agua en una determinada sección y el cálculo de la velocidad en la misma sección transversal.

La modelación hidráulica se realiza en dos pasos:

- El cálculo del nivel de agua en una sección transversal determinada para un caudal específico.
- El cálculo de la velocidad en las mismas condiciones anteriores, a partir del nivel de agua calculado.

6. Modelación del hábitat:

En esta etapa, se toma información del canal como: estructura del canal, niveles de agua modelados y velocidades, esta información se combina con la referente de las curvas de preferencia de la especie seleccionada, esto, con el fin de generar un índice de calidad y cantidad de agua hábitat disponible, lo que se conoce en algunos casos como Área Ponderada Utilizable (APU).

7. Interpretación de resultados:

Finalmente, y después de realizar las modelaciones pertinentes, el programa arroja como resultado curvas en las cuales se relaciona el caudal en una sección determinada con el hábitat disponible para la especie seleccionada.

Mediante las curvas creadas, se analizan los posibles impactos que pueden generar los proyectos llevados a cabo en el ecosistema analizado, determinando de esta manera la mejor alternativa. Además, con los resultados obtenidos se pueden definir los caudales ambientales en el cauce.

Es importante indicar, que se requieren análisis adicionales para incorporar factores tales como calidad de aguas y modelación de temperatura.

3.4.1 Componente de simulación hidráulica.

El componente de simulación hidráulica, tiene como objetivo calcular los cambios de las variables de profundidad y velocidad para diferentes valores de caudal en la

zona del río, se presenta dividida en secciones transversales, con las cuales se va a trabajar. Con este componente de PHABSIM se busca calcular un valor ponderado del hábitat o de área de río que se puede utilizar, teniendo en cuenta la información recolectada en campo de características físicas y de las especies de la zona.

Por otro lado, aunque características como la temperatura y la calidad del agua también hacen parte de la descripción física de los ríos, estas deben ser analizadas de forma externa al programa, debido a que, dependen de factores externos tales como las estaciones del año, las condiciones locales, la altitud de la zona, los materiales geológicos que se encuentran en el río y el desarrollo económico de la zona.

Como se mencionó y como se observa en la Figura 5, la simulación hidráulica está compuesta por dos partes: la simulación de la lámina de agua (WSL) y la simulación de la velocidad. A continuación, se describen con detalles las dos partes de esta simulación.

3.4.1.1 Simulación de la lámina de agua.

Para llevar a cabo la modelación de la lámina de agua, PHABSIM cuenta con 3 metodologías, tal como se describe a continuación cada una de ellas:

- STGQ: este modelo es también conocido como el método de regresión lineal basado en múltiples mediciones en campo. En primer lugar, se obtienen mediciones de caudal en campo (mínimo 3 valores de caudal), luego, mediante la relación altura – caudal, se calcula la elevación de lámina de agua para cada sección transversal mediante una regresión log-log o ajuste bilogarítmico entre el nivel y el caudal observado con el fin de hallar una ecuación que sirva para estimar la lámina de agua. Se debe tener en cuenta que cada sección se trata de forma independiente (USGS, 2001). La siguiente es la ecuación usada por el modelo STGQ:

$$aQ^b = WSL - SZF$$

Donde:

- Q: caudal
- WSL: elevación de la lámina de agua
- SZF: elevación de la superficie del agua en una sección transversal cuando el flujo o caudal es igual a cero
- a: constante derivada de los valores medidos del caudal y altura
- b: coeficiente derivada de los valores medidos del caudal y altura

Finalmente, la ecuación puede transformarse en una relación lineal obteniendo la siguiente:

$$\log_{10}(WSL - SZF) = \log_{10} a + b * \log_{10} Q$$

- MANSQ: este modelo utiliza la ecuación de Manning para calcular la elevación de lámina de agua para cada sección transversal. Al igual que el método anterior, se tiene en cuenta que cada sección se trata de forma independiente. Debido a que se modela con flujo uniforme, es posible utilizar la pendiente de fondo, siendo ésta igual a la pendiente de energía (USGS, 2001). La ecuación usada por este método es la siguiente:

$$Q = \left(\frac{1}{n} * S^{1/2}\right) * A * R^{2/3}$$

Donde:

- Q: caudal
- n: coeficiente de rugosidad de Manning
- S: pendiente
- A: área hidráulica
- R: radio hidráulico

Adicional, se cuenta con la ecuación simplificada:

$$Q = K * A * R^{2/3}$$

Donde K se determina a partir de un conjunto único de datos de elevación de superficie de agua medidos y la geometría del canal medido en una sección transversal. El programa, utiliza entonces conjuntos de datos de calibración adicionales (caudales y elevaciones de superficie de agua) para resolver 1 de las 2 ecuaciones siguientes (USGS, 2001):

$$K = K_0 * \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^\beta \quad (1)$$

$$K = K_0 * \left(\frac{R}{R_0}\right)^\beta \quad (2)$$

Finalmente, para realizar la calibración del modelo se realiza un procedimiento de ensayo y error con el fin de obtener un coeficiente (β) con el cual se minimice el error entre los valores de la lámina de agua observados y simulados. El valor de (β) varía entre 0 y 0.6 (USGS, 2001).

- WSP: este modelo también conocido como Perfil de la Superficie del Agua, utiliza el método de paso estándar para calcular la elevación de lámina de agua en cada sección transversal. Para realizar la modelación mediante este modelo, todas las características hidráulicas de cada sección transversal son medidas a partir de un punto de referencia común, además de necesitar “un juego de velocidades con su correspondiente nivel de agua” (Mayo, 2000). Para la calibración del método, se requiere tener varios pares de velocidades con sus respectivos niveles de agua, además de un valor inicial de nivel de superficie de agua o de la pendiente de energía. La modelación de la

lámina de agua mediante esta metodología se basa en el uso de dos ecuaciones (1) ecuación de Bernoulli y (2) ecuación de continuidad:

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta E \quad (1)$$

$$Q_i = Q_{i+1} \quad (2)$$

3.4.1.2 Simulación de la velocidad.

Para realizar la modelación de la velocidad se usa el método VELSIM por medio del cual se simula la distribución de velocidades dentro de una sección transversal para cada uno de los caudales de simulación, teniendo en cuenta que cada sección transversal es dividida en celdas como se presenta en la Figura 4, en donde cada color representa una celda diferente y su velocidad.

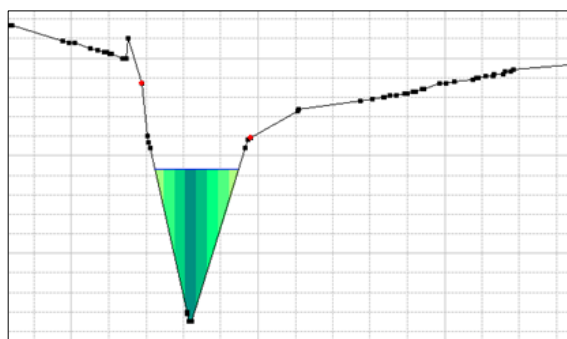


Figura 4. Ilustración de las celdas que componen una sección transversal.
Fuente: Elaboración propia – Modelación en el programa computacional HEC - RAS

Según USGS, (2001), VELSIM se basa en un “conjunto empírico de observaciones de velocidad (es decir, velocidades medidas) que actúan como una plantilla para distribuir velocidades a través de un canal resolviendo el 'n' en la ecuación de Manning”. En caso de que no se cuente

con información inicial de velocidad, PHABSIM, calcula un valor de velocidad en función de la profundidad del flujo y lo distribuye en la sección transversal.

3.4.2 Componente de simulación de hábitat.

Mediante este componente, se realiza el análisis de hábitat a través de las curvas de preferencia de la especie de la zona tomada como indicador. Las curvas de preferencia, son curvas que miden la preferencia de hábitat o de adecuación de una especie. Una mejor definición es la planteada en García, (2013), en la cual las define como “Las funciones de preferencia biológica que representan el grado de adecuación de las especies acuáticas respecto a los parámetros utilizados en la evaluación del hábitat, que generalmente son como mínimo la velocidad, la profundidad y el sustrato”.

Las curvas de preferencia poseen una escala que varía de 0 a 1, en donde 0 representa los valores de los parámetros que son menos tolerables para la especie y 1 los valores de los parámetros que sean más tolerables u óptimos para el desarrollo de la especie.

Para seleccionar la especie indicadora de la zona de proyecto, se tiene en cuenta aquella especie que mejor represente la demanda y la adaptabilidad, generalmente, se toma la especie más tradicional y abundante de la zona.

Para el caso colombiano, donde se cuenta con poca información de curvas de preferencia de las especies, debido al escaso trabajo en campo realizado, se presenta una limitante para llevar a cabo estudios de caudales ecológicos en las diferentes regiones del país. Por tal razón, para llevar a cabo el presente trabajo, se trabajó con información biológica secundaria recolectada para el macroinvertebrado Chironomidae, siendo ésta la fuente de alimentación del *Eremophilus mutisii*. La decisión fue tomada teniendo en cuenta lo presentado en Cardona, (2012), donde se concluye que, “el caudal suficiente para las especies de peces también lo es para los macroinvertebrados bentónico”.

Para realizar la simulación del hábitat, PHABSIM cuenta con tres metodologías las cuales se describen a continuación:

- HABTAE: Es la metodología más usada por PHABSIM para la modelación del hábitat. Mediante HABTAE, el programa calcula el hábitat disponible en términos de área o de volumen, conocidos como Área Útil Ponderada, WUA (Weighted Usable Area) o Volumen Útil Ponderado, WUV (Weighted Usable Volume) respectivamente para cada sección transversal. La modelación del hábitat depende de las curvas de preferencia, así como de simulaciones exitosas de las láminas de agua y la velocidad. HABTAE usa la siguiente ecuación para calcular el WUA en cada celda para una sección transversal:

$$W_{uai} = A_i * CS_i$$

Dónde:

- W_{uai} : área utilizable ponderada de la celda computacional i
 - A_i : área de la celda computacional i
 - CS_i : idoneidad combinada de la celda computacional i
- HABTAM: mediante esta metodología se simula la condición en la cual las especies estudiadas pueden migrar de forma lateral dentro de una sección transversal con el fin de poder usar el WUA cuando se presentan cambios de caudal. Al igual que en la modelación HABTAE, HABTAM, depende de las curvas de preferencia, así como de simulaciones exitosas de la lámina de agua y la velocidad realizadas con anterioridad. Según USGS, (2001),

HABTAM asume que el WUA disponible en el flujo de partida designado por el usuario se utiliza completamente y luego, basándose en la distancia de migración máxima permisible designada por el usuario para cada etapa de vida de cada especie, el programa calcula cuánto de la WUA disponible se puede usar en el flujo final designado.

Se debe tener en cuenta que la migración de las especies se da solo de forma lateral dentro de una sección transversal.

- HABEF: mediante esta metodología se calcula el hábitat considerando las condiciones en dos corrientes y/o en dos etapas de vida o especies (USGS, 2001). Para realizar este cálculo, HABEF tiene en cuenta los resultados de las modelaciones hechas con las metodologías HABTAE o HABTAM. Según USGS, (2001), HABEF utiliza el área de la celda computacional i (A_i) y la idoneidad combinada de la celda computacional i (CS_i) para cada célula computacional utilizada en la simulación de hábitat físico realizada en HABTAE o HABTAM, el cálculo de WUA se da por medio de la siguiente ecuación:

$$W_{uai} = \sum_{i=1}^{ncell} CS_i * A_i$$

Capítulo 4. Descripción de las Especies en Estudio

En el presente capítulo, se muestran las principales características y la importancia en la determinación del caudal ecológico en el río Sisga, para el Macroinvertebrado Chironomidae, base del alimento del pez Capitán de la Sabana cuyo nombre científico es *Eremophilus mutisii* y especie en estudio para el desarrollo del presente proyecto.

Como se ha mencionado, en Colombia se cuenta con pocos estudios y trabajos de campo acerca de las especies de peces que existen en los ríos de montaña, e información de tipo ecológica, para llevar a cabo el cálculo de caudales ambientales por medio de una modelación de hábitat fluvial o metodología hidrobiológicas, por tal razón, se toma como información base, la presentada en el trabajo llevado a cabo por Cardona, (2012) “Curvas de idoneidad de Hábitat para Macroinvertebrados bentónicos: Una Herramienta para la estimación de caudales ambientales”, donde se elaboraron curvas de idoneidad de hábitat para los macroinvertebrados acuáticos de los ríos Barbo y Campoalegrito en el departamento de Risaralda, esto, con el fin de calcular el caudal ambiental de estos cuerpos de agua. Como conclusión, Cardona (2012), determina que el caudal suficiente para las especies de peces también lo es para los macroinvertebrados bentónicos, además, la información biológica de los macroinvertebrados estudiados puede “ser utilizada en el cálculo de caudales ambientales para los ríos estudiados, o dependiendo de la variabilidad encontrada en los datos, también podría ser utilizada para otros ríos de características similares”.

4.1 Macroinvertebrado Chironomidae

4.1.1 Definición.

Los macroinvertebrados se definen, según Cortolima; Corpoica; SENA; Universidad del Tolima (s.f), como “aquellos organismos que se pueden ver a simple vista; es decir, todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud”, y que generalmente viven en cuerpos de agua dulce. “Macro” se refiere a

aquellos organismos invertebrados que tienen un tamaño mínimo de 0.5 mm y un tamaño máximo de aproximadamente 2.5 mm.

Dentro del grupo de organismos macroinvertebrados acuáticos se pueden encontrar crustáceos, moluscos, anélidos, turbelarios, larvas, entre otros. Estos organismos se clasifican en tres grandes grupos dependiendo el lugar en donde habitan:

- Nectos: cuando los organismos son nadadores constantes.
- Neuston: cuando los organismos habitan en la superficie del cuerpo de agua.
- Bentos: cuando los organismos habitan en los lodos y los sustratos, ya sea orgánico o inorgánico, del cuerpo de agua.

Los macroinvertebrados constituyen una parte muy importante en la cadena alimenticia ya que son la base de la alimentación de los peces y de algunas aves. En este caso, este macroinvertebrado es la base del alimento del pez capitán de la sabana, con el cual, se realiza el análisis del caudal ambiental en el río Sisga.

4.1.2 Taxonomía.

El macroinvertebrado Chironomidae pertenece al phylum Arthropoda y al orden Diptera. En la Figura 5 se presenta la clasificación taxonómica del organismo.

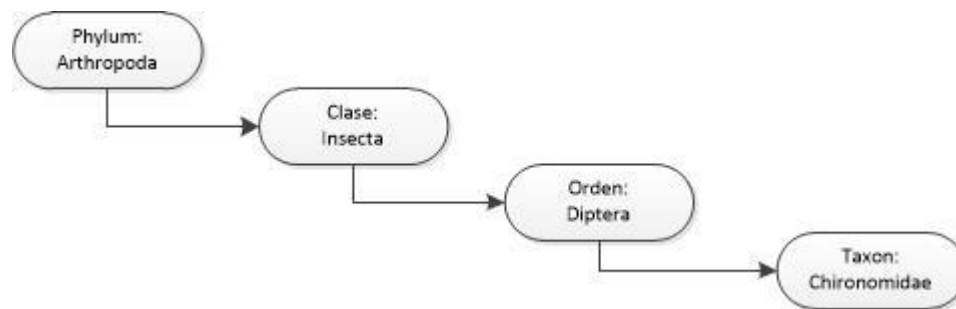


Figura 5. Clasificación taxonómica del macroinvertebrado Chironomidae.
Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Características.

Dentro de la familia Chironomidae existen organismos que viven dentro de tubos de detritus y organismos que viven de manera libre. En la Figura 6 se presenta la forma de estos macroinvertebrados. Además, se sabe que este tipo de organismos puede soportar condiciones de oxígeno bajas.

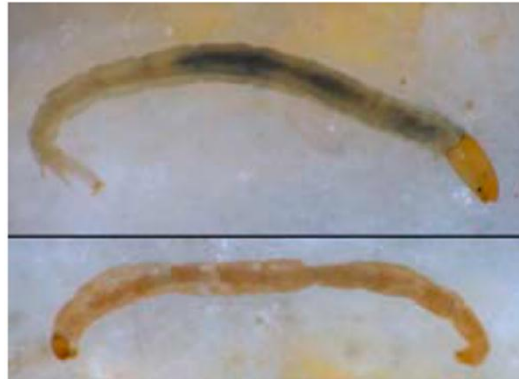


Figura 6. Forma del macroinvertebrado Chironomidae.

Fuente: (Gobierno de España; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009))

Por otro lado, Cortolima; Corpoica; SENA; Universidad del Tolima (s.f), indican que esta familia es “uno de los grupos de insectos más importantes, no solamente por su gran abundancia sino por la variedad de especies que se encuentran en casi todos los hábitats de agua dulce”, posee alrededor de 15000 especies de las cuales aproximadamente 2000 se encuentran en el neo trópico.

La tasa de reproducción de estos organismos es alta, lo que se puede traducir a su gran abundancia. Una de las especies de este gran grupo son las larvas, las cuales se consideran hidropnéuticas³ y muchas de estas poseen hemoglobina en la

³ Organismos Hidropnéuticos: son aquellos organismos que pueden obtener el oxígeno directamente del agua, por medio de bránqueas.

hemolinfa⁴ permitiéndoles de esta manera maximizar la captación de oxígeno y soportar condiciones de poco oxígeno disuelto.

En cuanto a su hábitat y su alimentación, estos organismos habitan en zonas lodosas y arenosas de lagos, ríos y aguas marinas. Tiene la capacidad de construir tubos o redes fijas para vivir sobre estas o vagar de forma libre sobre las rocas, los residuos orgánicos y los diferentes sustratos de su hábitat según lo expuesto en Sanabria, (2006). El macroinvertebrado Chironomidae se alimenta principalmente de detritus, sedimentos y algas en su mayoría Bacillariophyceae; en algunos casos llegan a alimentarse de rotíferos, oligoquetos y larvas de insectos (López & Talero, 2014).

Además de considerarse una de las fuentes principales de alimento del pez capitán de la sabana, este macroinvertebrado es usado como indicador de contaminación de un río. En Sanabria, (2006), se muestra que “Existe documentación acerca de tres situaciones en las que cambia el tipo estructural de la comunidad macroinvertebrada, y son la carga orgánica, alteración del sustrato y contaminación química tóxica”, lo que indica, que, dependiendo de las condiciones en las cuales se encuentran los macroinvertebrados se puede determinar la calidad del agua en la que habitan los mismos.

4.1.4 Curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae.

Para poder llevar a cabo el cálculo de los caudales ambientales en un cuerpo de agua mediante la metodología IFIM y su programa computacional PHABSIM, es indispensable contar con la información hidrológica, hidráulica y biológica, principalmente, refiriéndose ésta última a las curvas de preferencia de la especie a analizar dentro del cuerpo de agua. En otras palabras, como lo menciona Cardona,

⁴ Hemolinfa: fluido presente en el sistema circulatorio de los invertebrados, es incoloro y contiene nutrientes, agua y compuestos orgánicos. La hemolinfa cumple las funciones que cumple la sangre en los organismos vertebrados.

(2012) “La existencia de preferencias o uso de valores específicos de los parámetros hidráulicos por parte de los macroinvertebrados bentónicos, así como de otros organismos acuáticos, permite el desarrollo de modelos de idoneidad de hábitat para velocidad, profundidad y sustrato”.

Ahora bien y como indica Cardona, (2012), en ausencia de información acerca de curvas de preferencia de organismos en el país, es necesario hacer adaptaciones como la de información de macroinvertebrados bentónicos de Europa, Norte América y Nueva Zelanda.

Según la disponibilidad de datos que se tengan para la construcción de estas curvas, existen tres categorías en las cuales se pueden dividir las curvas de preferencia:

- Categoría I: esta categoría se refiere a la disponibilidad de información secundaria tomada de publicaciones científicas o de experiencia de profesionales en el tema. La información que se encuentra dentro de esta categoría es general y típica y refleja un rango amplio de uso para las especies estudiadas.
- Categoría II: dentro de esta categoría se encuentra información fundamentada en observación de diferentes especies (y sus etapas de vida), la cual es estudiada mediante el análisis de frecuencias combinado con técnicas de ajuste. La esencia de la información, está, en las condiciones en las cuales se encuentra el cuerpo de agua en el momento en que son realizadas las observaciones, por lo cual se considera que “no necesariamente describen una preferencia fisiológica o de comportamiento debido a que las condiciones preferidas pueden estar poco disponibles dentro del río donde los datos están siendo colectados” (Cardona, 2012).
- Categoría III: la información de esta categoría se basa en la disponibilidad de hábitat presente en el cuerpo de agua, por lo cual es llamada “funciones de preferencia”.

Por lo anterior, y dadas las condiciones de acceso a estudios relacionados con el tema, la información usada para el desarrollo del presente trabajo clasifica bajo la Categoría I.

Los macroinvertebrados bentónicos son de gran importancia ya que por un lado ayudan a establecer el nivel de contaminación o el estado de la calidad del agua del cuerpo de agua y, por otro lado, la importancia es mayor para el desarrollo de este trabajo ya que son una de las fuentes de alimentación del pez *Eremophilus mutisii* o pez capitán de la sabana. Debido a que los macroinvertebrados son menos móviles, más sensibles a cambios en el caudal o a caudales bajos y tiene rangos de tolerancia más bajos que los peces (Cardona, 2012), se puede reafirmar que el análisis de los caudales ambientales por medio de la metodología IFIM en el río Sisga es válido usando las curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae.

En cuanto a las curvas de preferencia, los parámetros más usados para la caracterización de un hábitat son:

- La velocidad: esta es la característica más importante, ya que tiene gran influencia en funciones vitales de los organismos como la alimentación y la respiración. Asimismo, depende el tipo de flujo que se forme en el cuerpo de agua, de esta manera se pueden formar dos hábitats diferentes para los macroinvertebrados, uno en flujo laminar y otro en flujo turbulento.
- La profundidad: este parámetro es importante ya que, dependiendo de la profundidad del cuerpo de agua, la luz incide en mayor o en menor proporción sobre éste haciendo que se afecte la disponibilidad de alimento de los macroinvertebrados.
- El sustrato: finalmente, el sustrato se tiene en cuenta ya que de este dependen las otras características físicas del caudal del cuerpo de agua analizado.

Para obtener las curvas de preferencia de los macroinvertebrados, Cardona, (2012) realizó muestreos en dos ríos de Colombia: el río Campoalegrito y el río Barbo

ubicados en el municipio de Santa Rosa de Cabal en el departamento de Risaralda, con un total de 150 muestras por río para cada periodo climático (periodo de lluvias y periodo seco). Finalmente, tomó la información de las curvas de preferencia para el macroinvertebrado Chironomidae construidas para el río Barbo, ya que para Campoalegrito no se tiene registro de curvas de preferencia para el parámetro de velocidad en la información presentada.

4.1.4.1 Curva de preferencia para el parámetro de velocidad.

Para calcular los valores de velocidad del macroinvertebrado Chironomidae (Ver Tabla 1), se tomó como base la información presentada en el documento de Cardona, (2012), que se refiere a la curva de preferencia junto con la ecuación de ajuste como se observa en la Figura 7. Por otro lado, en la misma tabla, se presentan los valores y la ecuación con los cuales se puede construir la curva de preferencia para la velocidad.

Tabla 1. Valores de Velocidad

VELOCIDAD	
$y = 2E-05x^2 - 0.0123x + 1$	
x	y
0	1.00
5	0.94
10	0.88
15	0.82
20	0.76
25	0.71
30	0.65
35	0.59
40	0.54
45	0.49
50	0.44
55	0.38
60	0.33
65	0.29
70	0.24
75	0.19
80	0.14
85	0.10
90	0.06
95	0.01

Fuente: Elaboración Propia

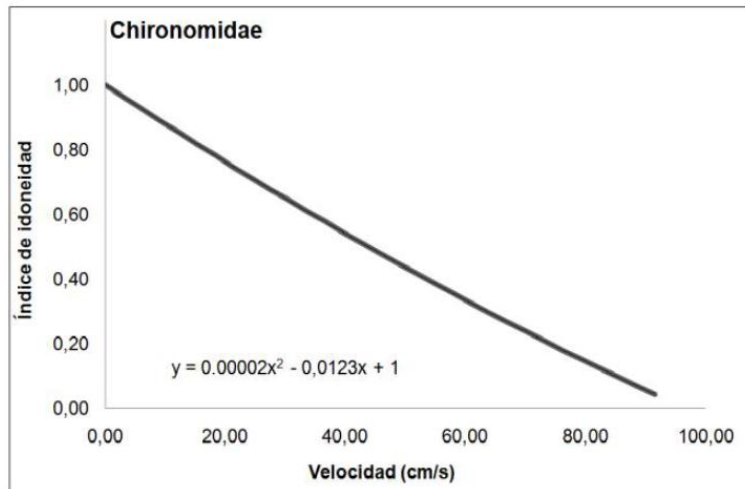


Figura 7. Ecuación y curva de preferencia base para el parámetro de velocidad.
Fuente: (Cardona Duque, 2012)

4.1.4.2 Curva de preferencia para el parámetro de profundidad.

Para calcular los valores de profundidad del macroinvertebrado Chironomidae (ver Tabla 2), se tomó como base la información referida a la curva de preferencia junto con la ecuación de ajuste como se observa en la Figura 8 de Cardona, (2012). Por otro lado, en la Tabla 2 se presentan los valores y la ecuación con los cuales se puede construir la curva de preferencia para la profundidad.

Tabla 2. Valores de profundidad

PROFUNDIDAD	
$-0.0003x^2 - 0.005x + 1.0244$	
x	y
5	0.9919
10	0.9444
15	0.8819
20	0.8044
25	0.7119
30	0.6044
35	0.4819
40	0.3444
45	0.1919
50	0.0244

Fuente: Elaboración Propia

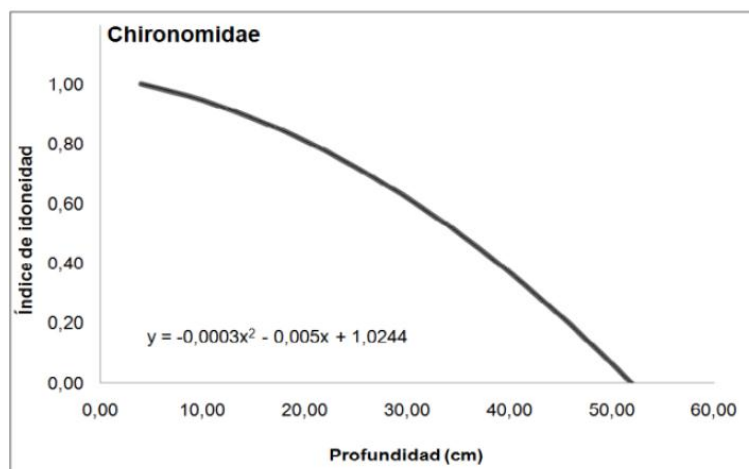


Figura 8. Ecuación y curva de preferencia base para el parámetro de profundidad.
Fuente: (Cardona Duque, 2012)

4.1.4.3 Curva de preferencia para el parámetro de sustrato.

Para llevar a cabo el cálculo de la preferencia de sustrato del macroinvertebrado Chironomidae, se tiene en cuenta la clasificación diamétrica de las partículas que componen el sustrato. Esta clasificación se basa en el código de Wentworth como se menciona en Mayo, (2000) y presentada en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación granulométrica del sustrato

NOMBRE	SIGLA	CLAVE	CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS
Roca Madre	RM	10	Extensiones de roca desnuda superiores a 1 m ²
Bolos	Bo	9	Partículas con diámetro superior a 1000 mm
Bloques Grandes	BG	8	Diámetro mayor de 500 mm y menor de 1000 mm. Marca de clase en 7 mm
Bloques Pequeños	BP	7	Diámetros comprendidos entre 250 y 500 mm. Marca de clase en 325 mm
Gravas Gruesas	GG	6	Partículas con diámetros entre 120 y 250 mm. Marca de clase en 185 mm
Gravas Medianas	GM	5	Partículas con diámetros entre 60 y 120 mm. Marca de clase en 90 mm
Gravas Finas	GF	4	Partículas con diámetros comprendidos entre 30 y 60 mm. Marca de clase en 45 mm
Gravillas	G	3	Partículas con diámetros entre 15 y 30 mm. Marca de clase en los 22,5 mm
Arenas	A	2	Partículas con diámetros comprendidos entre 0,5 y 15 mm. Marca de clase en 7,75 mm
Finos	F	1	Todas aquellas partículas con diámetro inferior a 0,5 mm

Fuente: (Mayo, 2000)

Por otro lado, la clasificación granulométrica presentada en la tabla anterior, es reducida a seis categorías, esto, con el fin de evaluar el sustrato como parte del hábitat. La reducción fue realizada por Bovee (1982) y es usada por otros autores para realizar la evaluación del hábitat fluvial (Mayo, 2000):

- Finos: la misma categoría de finos de la clasificación granulométrica básica.
- Arenas: arenas y gravillas muy finas.
- Gravillas: gravas finas.
- Gravas: gravas medianas y gruesas.
- Bloques: bloques pequeños y grandes.
- Roca Madre: bolos y roca madre.

Finalmente, y teniendo en cuenta la clasificación granulométrica del sustrato, “se calculó el índice de sustrato propuesto por Bovee (1982) para este tipo de estudios” (Cardona, 2012):

Índice de sustrato

$$= 0.08 * \% \text{ de bloque} + 0.07 * \% \text{ de cantos} + 0.06 * \% \text{ de grava gruesa} \\ + 0.05 * \% \text{ de grava fina} + 0.04 * \% \text{ de arena} + 0.03 * \% \text{ de llimo}$$

De esta manera, y con base en información presentada en el documento de Cardona, (2012), en la Tabla 4, se presentan los valores del índice de sustrato y la ecuación con los cuales se puede construir la curva de preferencia para el mismo, mientras que, en la Figura 9 se presenta la curva de preferencia para el parámetro de sustrato.

Tabla 4. Valores de sustrato

SUSTRATO	
$0.0991x^2 - 1.4833x + 5.7822$	
x	y
5.0	0.84
5.5	0.62
6.0	0.45
6.5	0.33
7.0	0.25
7.5	0.23
8.0	0.26

Fuente: Elaboración Propia

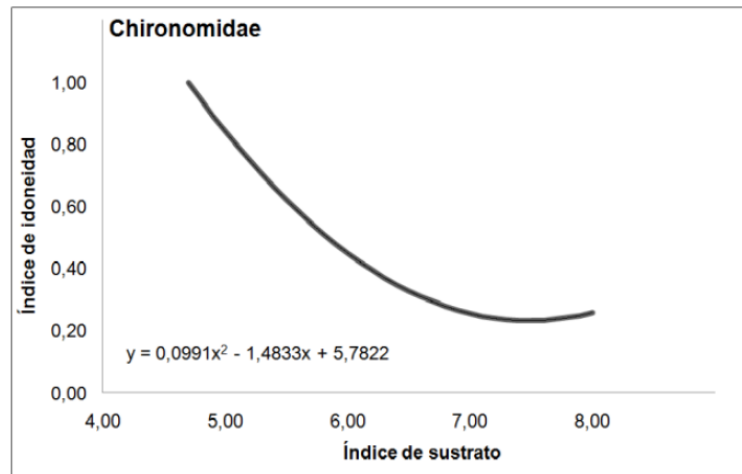


Figura 9. Ecuación y curva de preferencia base para el parámetro de sustrato.
Fuente: (Cardona Duque, 2012)

Ahora bien, debido a que no se cuenta con los datos originales de sustrato recogidos en campo, no es posible determinar a que hace referencia el índice calculado, ya que estos valores son parte de los cálculos generados por Cardona, (2012), se concluye entonces, que las curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae trazadas anteriormente, se consideran como la información biótica necesaria para realizar la modelación en el programa computacional PHABSIM.

4.2 Eremophilus mutisii (Pez Capitán de la Sabana)

4.2.1 Definición.

El pez Eremophilus mutisii pertenece a la familia Trychomycteridae y es conocido comúnmente como capitán de la sabana. Es un pez que habita en cuerpos de agua dulce y en climas fríos, específicamente en los ríos del altiplano Cundiboyacense, donde la altitud varía entre los 2500 y los 3100 msnm. Por esta razón, se considera como una especie endémica⁵.

Esta especie fue descubierta por el naturalista y explorador alemán Alexander von Humboldt y es definida como:

Es un bagre de agua fría de mayor talla o envergadura; permanece la mayor parte del tiempo en el fondo del agua, lo cual dificulta su captura e investigación; puede vivir en aguas que posean temporalmente bajos niveles de oxígeno disuelto; es fuente de proteína para muchas comunidades campesinas que lo pescan y consumen, especialmente en temporadas como la semana santa; y podría convertirse en una importante base de ingresos económicos para posibles cultivadores. (Bastidas & Lemus, 2014)

Su nombre se compone de dos características particulares, según Bastidas & Lemus, (2014), el término Eremophilus significa amante de la soledad y el término mutisii fue puesto por Humboldt en honor al trabajo realizado por José Celestino Mutis⁶. En la Figura 10 se presenta una imagen del pez capitán de la sabana.

⁵ Una especie se considera endémica cuando solo existe y se reproduce en una región específica.

⁶ En la época en la cual fue descubierta el pez capitán de la sabana, José Celestino Mutis fue el encargado de llevar a cabo la Real Expedición Botánica, en la cual se clasificaron aproximadamente 20 000 especies de flora y 7000 especies de fauna en Colombia.



Figura 10. Eremophilus mutisii – Pez capitán de la sabana.
Fuente: (Maldonado Ocampo, y otros, 2005)

4.2.2 Taxonomía.

La clasificación taxonómica del Eremophilus mutisii se presenta continuación con base en lo descrito por (Bastidas Gálvez & Lemus Portillo, 2014) :

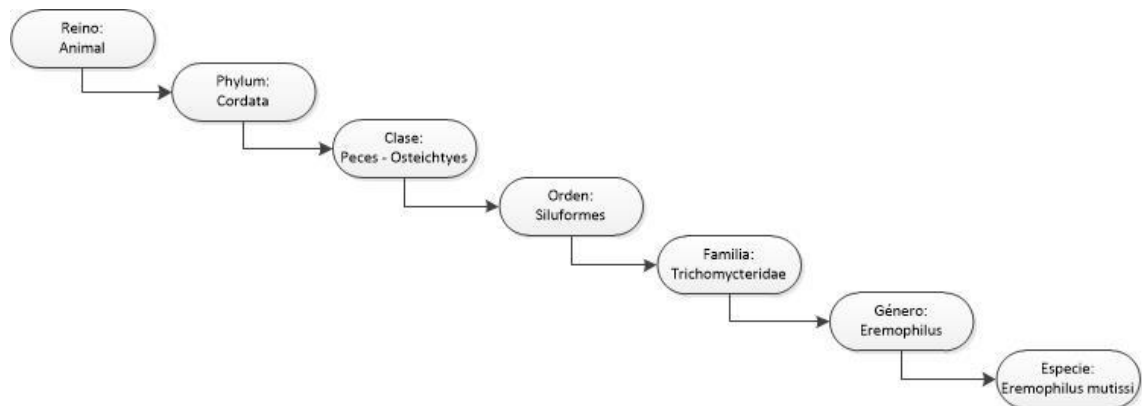


Figura 11. Clasificación taxonómica del pez Eremophilus mutisii.
Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Características.

El pez capitán de la sabana se caracteriza por tener un cuerpo cilíndrico sin aletas pélvicas ni escamas, una cabeza planada y ojos pequeños tal y como se observa en la Figura 10. Su piel es suave y está cubierta por una mucosidad que además de brindarle protección contra hongos y bacterias, lubrica ayuda a reducir la fricción corporal con el agua mientras se desplaza y a aumentar su velocidad (Bonilla, Quintero, Gómez, Rodríguez, & Hurtado, 2008). Su coloración es variable, ya que

pueden existir especies en color verde oscuro con manchas generalmente amarillas, doradas o rosadas. En cuanto a su longitud, ésta varía entre un mínimo de 35 cm y un máximo de 50 cm, teniendo en cuenta que, las hembras son de mayor tamaño que los machos, lo que se conoce como dimorfismo sexual secundario.

Otra de las características del pez capitán de la sabana, es que tiene la capacidad de respirar de forma aérea, utilizando su estómago como órgano accesorio de la respiración, lo cual permite la supervivencia de la especie en ecosistemas contaminados y con poco oxígeno disuelto.

Este pez, es una especie que además de considerarse que tiene una importancia social y económica, esto, debido a que es alimento y fuente de ingresos para las poblaciones rivereñas, también tiene una gran importancia ambiental, ya que por su condición bentónica ayuda a limpiar el fondo de los ríos cuando estos se encuentran contaminados. La condición bentónica se debe a que su dieta alimentaria se basa en materia orgánica en descomposición y macroinvertebrados acuáticos (como el macroinvertebrado Chironomidae).

Capítulo 5. Calidad del Agua del Río Sisga

Aunque los parámetros de calidad del agua no son modelados directamente con el programa PHABSIM, se analiza el estado de la calidad del agua del río Sisga y de la zona aferente con el fin de tener un conocimiento más amplio del hábitat del macroinvertebrado analizado.

Para el desarrollo de la actividad de análisis, se tuvo en cuenta la información suministrada por la Corporación Autónoma Regional CAR, de 3 puntos de muestreo tomados durante el periodo 2013 a 2016: la descarga del embalse del Sisga, estación limnigráfica Saucio, la cual se ubica en cercanías a la desembocadura del río Sisga en el río Bogotá y por último aguas abajo del municipio de Chocontá sobre el río Bogotá. En la Tabla 5 se presenta el valor de los parámetros más importantes de calidad de agua analizados y el año en el cual fue tomada la muestra.

Tabla 5. Parámetros de Calidad del Agua – Río Sisga

SITIO DE MUESTRA	PARÁMETRO	UNIDAD	FECHA DE TOMA DE MUESTRA			
			VALOR			
			04/07/2013	13/05/2014	04/03/2015	03/03/2016
Descarga embalse del Sisga	p H	Unidad	7.1	-	7.4	7.9
	Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	8.3	5.1	9.3	9.1
	Aluminio	µg Al / L (ppb)	228	-	96.4	-
	Cloruros	mg Cl- / L	-	3.34	3.81	3.57
	Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	5.72	8.57	-	8.2
	Hierro	µg Fe / L (ppb)	0.77	2.17	3.23	1.62
	N- Nitrato	mg N-NO ₃ / L	0.3	-	-	-
	N- Nitrito	mg N-NO ₂ / L	0.004	-	-	-
	Sulfatos	mg-SO ₄ / L	6.3	-	-	-
	Temperatura	° C	-	16.4	16.9	15.9
	Turbidez	UTN	8.1	24.3	9.5	5.74
	Coliformes Totales	NMP / 100 mL	700	850	500	370
	Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	7.2	-	-	-
	DQO	mg O ₂ / L	-	19.4	16.3	24.1
	DBO	mg O ₂ / L	-	2.3	-	-
Sólidos Totales	mg - ST/ L	26	57	44	34	
Estación Limnigráfica Saucio	p H	Unidad	7.3	-	7.6	7.6
	Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	22.4	18.2	62.1	105
	Aluminio	µg Al / L (ppb)	303	-	68.54	-
	Cloruros	mg Cl- / L	19.14	21.87	99.37	96.17
	Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	15.2	21.37	-	77.18
	Hierro	µg Fe / L (ppb)	1.33	2.18	1.41	2.06
	N- Nitrato	mg N-NO ₃ / L	0.7	0.516	0.027	0.396
	N- Nitrito	mg N-NO ₂ / L	0.062	0.063	-	-
	Sulfatos	mg-SO ₄ / L	14.2	-	65.9	51.6
	Temperatura	° C	18.5	15.2	19.1	19.1
	Turbidez	UTN	15.7	30	5.1	10.1
	Coliformes Totales	NMP / 100 mL	28000	9900	7600	2300
	Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	8.3	-	-	-
	DQO	mg O ₂ / L	17	33.7	31.7	35.9

SITIO DE MUESTRA	PARÁMETRO	UNIDAD	FECHA DE TOMA DE MUESTRA			
			VALOR			
			04/07/2013	13/05/2014	04/03/2015	03/03/2016
	DBO	mg O ₂ / L	2.8	4.1	5.9	8.2
	Sólidos Totales	mg - ST/ L	96	124	319	336
Aguas abajo municipio de Chocontá	p h	Unidad	7.3	-	7.5	6.9
	Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	32.3	21.7	57.9	112
	Aluminio	µg Al / L (ppb)	339	-	41.22	-
	Cloruros	mg Cl- / L	26.3	24.65	53.14	127.04
	Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	17.87	22.03	-	78.19
	Hierro	µg Fe / L (ppb)	1.47	1.69	0.99	1.71
	N- Nitrato	mg N-NO ₃ / L	0.6	0.165	-	0.392
	N- Nitrito	mg N-NO ₂ / L	0.038	0.023	-	0.006
	Sulfatos	mg-SO ₄ / L	10.9	-	28.6	62.8
	Temperatura	° C	18	15	26.6	19.1
	Turbidez	UTN	20.4	51.8	7.7	14.5
	Coliformes Totales	NMP / 100 mL	110	100000	24000	250000
	Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	4.6	-	-	-
	DQO	mg O ₂ / L	27.9	32	42.8	66.5
	DBO	mg O ₂ / L	10.5	4.9	6.3	17.4
Sólidos Totales	mg - ST/ L	117	150	201	423	

Fuente: Corporación Autónoma Regional CAR

Con el fin de evaluar la calidad del agua del tramo de río que se está analizando, se realizó la comparación de los valores de las muestras tomadas con los valores admisibles de calidad del agua tomados de la normatividad vigente para Colombia.

La comparación de los valores de calidad del agua se realizó teniendo en cuenta lo expresado en la Resolución 2115 del 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”, en la Tabla 6, se presentan los valores máximos permisibles de la calidad del agua para consumo humano.

Tabla 6. Valores máximos permisibles de la calidad del agua para consumo humano según Resolución 2115 del 2007

CARACTERÍSTICA	EXPRESADA COMO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Características Físicas		
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2
Características Químicas que tienen Reconocido Efecto Adverso en la Salud Humana		
Antimonio	Sb	0.02
Arsénico	As	0.01
Bario	Ba	0.70
Cadmio	Cd	0.003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0.05
Cobre	Cu	1.00
Cromo total	Cr	0.05

CARACTERÍSTICA	EXPRESADA COMO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Mercurio	Hg	0.001
Níquel	Ni	0.02
Plomo	Pb	0.01
Selenio	Se	0.01
Trihalometanos Totales Policíclico	THMs	0.20
Hidrocarburos Aromáticos Plicíclicos (HAP)	HAP	0.01
Características Químicas que tienen Implicaciones sobre la Salud Humana		
Carbono Orgánico Total	COT	5
Nitritos	NO ₂ ⁻	0.1
Nitratos	NO ₃ ⁻	10
Fluoruros	F ⁻	1
Características Químicas que tienen Mayores Consecuencias Económicas e Indirectas sobre la Salud Humana		
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ³⁺	0.20
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0.30
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0.10
Molibdeno	Mo	0.07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3.00
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0.50
Características Microbiológicas		
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	0.00
Escherichia coli	UFC/100 cm ³	0.00

Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

Una vez, teniendo en cuenta los valores máximos permisibles de la calidad del agua para el consumo humano presentado en la normatividad vigente, se realiza la comparación con los valores de muestra obtenidos por la CAR, esto, con el fin de analizar en qué condiciones se encuentra el agua del río Sisga en el tramo de estudio. Debido a que en los datos de las muestras de la CAR muchos de los parámetros se encuentran en ceros, las comparaciones solamente se realizaron teniendo en cuenta los parámetros más importantes.

En primer lugar, se comparó el parámetro aluminio presentado en la Figura 12, para el año 2013, el sitio aguas abajo del municipio de Chocontá, presentó más aluminio que en los otros dos sitios analizados con una carga de 339 mg/l, mientras que en el año 2015, el sitio que presenta la mayor carga de aluminio es la descarga del embalse del Sisga con un valor de 96.4 mg/l. En los tres casos y para los años 2013 y 2015, el valor del aluminio es superior al valor máximo admisible para el agua de consumo humano superando hasta 338 mg/l en el año 2013 y 96.2 mg/l en el año 2015.

Debido a los valores altos de aluminio que presentaron las muestras, muy superiores a los valores admisibles por la normatividad colombiana, el agua del río Sisga en el tramo de estudio no se puede usar para consumo humano sin tener un tratamiento adecuado. Cabe anotar que este elemento es un componente natural de las aguas superficiales y subterráneas.

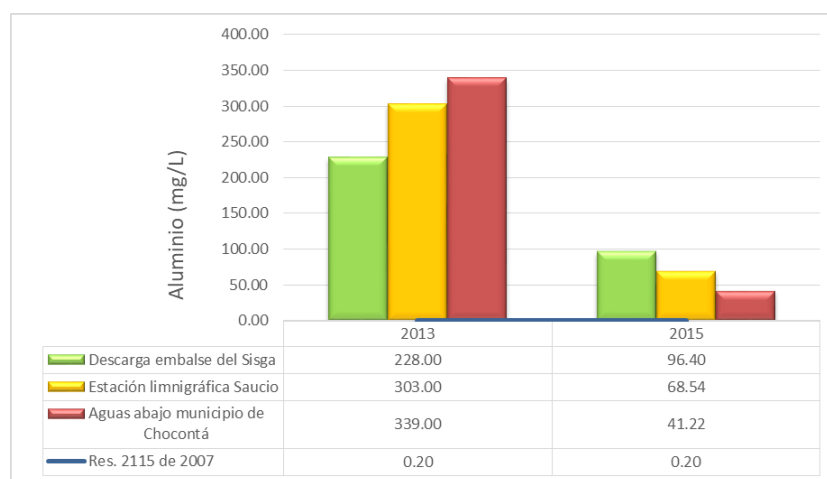


Figura 12. Comparación del parámetro Aluminio.
Fuente: Elaboración propia

El siguiente parámetro a analizar es la alcalinidad total, la cual, según Romero, (2009) “es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, capacidad para reaccionar con ion hidrógeno, capacidad para aceptar protones o medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH⁻)”⁷. Este parámetro, a diferencia del aluminio, presenta valores por debajo de los valores admisibles en la normatividad. En la Figura 13, se observa que, la alcalinidad total aumenta desde el año 2013 hasta el año 2016 en donde se presentan los valores más altos con un máximo de 112 mg/l para el sitio aguas abajo del municipio de Chocontá y un mínimo en el año 2014, para el sitio de la descarga del embalse del Sisga con un valor de 5.10 mg/l.

En general, y para los años evaluados, la carga máxima de alcalinidad se presenta aguas abajo del municipio de Chocontá. Para los tres sitios analizados y para los años 2013, 2014,

⁷ En aguas naturales, la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres compuestos: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

2015 y 2016, la alcalinidad se encuentra por debajo del valor máximo admisible para el consumo humano el cual es de 200 mg/l.

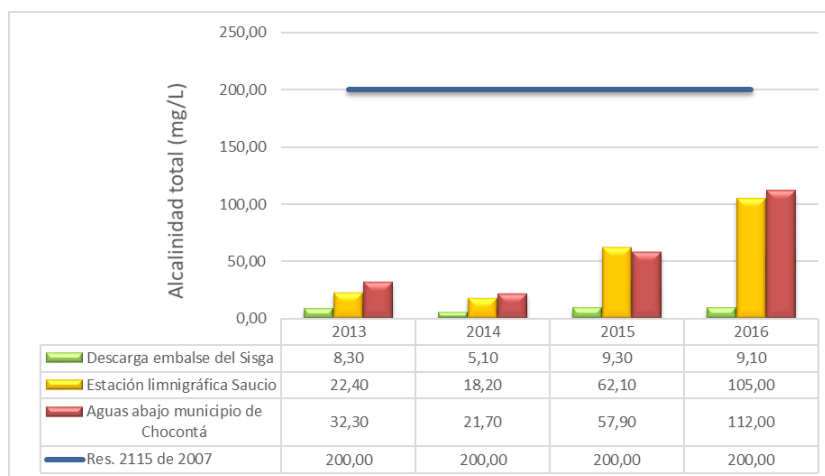


Figura 13. Comparación del parámetro Alcalinidad total.
Fuente: Elaboración propia

El siguiente parámetro a analizar es la cantidad de cloruros⁸ en las muestras tomadas por la CAR, como se observa en la Figura 14 , los cloruros en los tres sitios analizados y para los años 2013 a 2016, están cumpliendo con el valor máximo admisible para el agua de consumo humano el cual es de 250 mg/l. En todos los años de análisis, se observa que, en el sitio de descarga del embalse del Sisga se presenta la menor carga de cloruros. Se debe tener en cuenta que para el año 2013 el valor de cero corresponde a un dato no medido por la CAR y, por el contrario, en la mayoría de los años el sitio aguas abajo del municipio de Chocontá presenta los mayores registros de cloruros (a excepción del año 2015) con un valor máximo de 127.04 mg/l en el año 2016.

La variación de cloruros en la zona de estudio (valores bajos en la descarga del embalse del Sisga y altos en el sitio aguas abajo del municipio de Chocontá) es posible que se presente, ya que este parámetro depende de la acción del hombre o “de las contribuciones hechas por las personas” (Romero, 2004), esto indica que, en la zona de la descarga del

⁸ Los cloruros son sales que están presentes en mayor cantidad en las fuentes de abastecimiento de agua y en aguas residuales.

embalse hay poca acción del hombre, al contrario de lo que sucede en cercanías al municipio de Chocontá donde es evidente la presencia de personas y su intervención en el agua y suelo de la zona. Finalmente, se tiene que “Concentraciones altas pueden causar problemas de calidad de aguas para riego y de sabor en aguas para reuso”, (Romero, 2004)

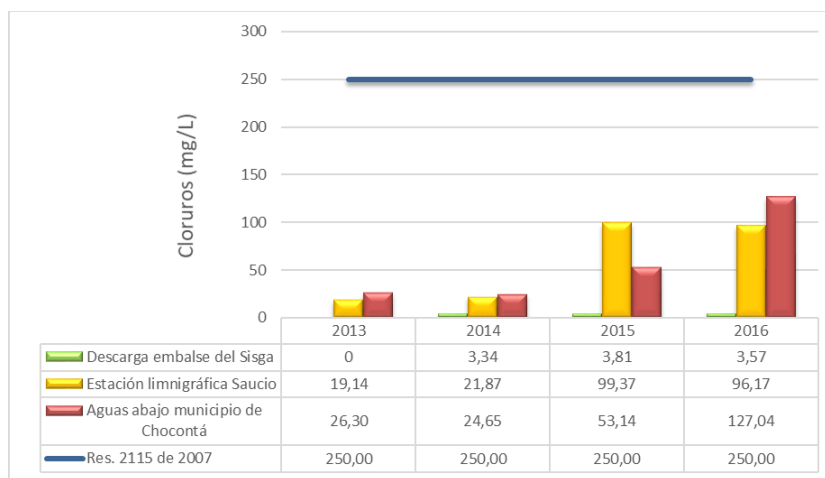


Figura 14. Comparación del parámetro Cloruros.
Fuente: Elaboración propia

La Figura 15 presenta los valores de la dureza total⁹, se encuentran por debajo del valor admisible de la Resolución 2115 de 2007 el cual corresponde a 300 mg/l. Como se observa en la gráfica, en el año 2013 se presentan los valores más bajos de dureza total con un mínimo de 5.72 mg/l en la descarga del embalse del Sisga, mientras que en el año 2016 se presentan los valores más alto con un máximo de 78.19 mg/l aguas abajo del municipio de Chocontá.

Al igual que el parámetro de cloruros, los valores altos de dureza total se presentan en cercanías al municipio de Chocontá en donde es evidente la intervención de las personas al agua. Este aumento de dureza en la zona del municipio se genera debido a que algunas de las causas de la dureza total son calcio, magnesio, hierro, aluminio, hierro, bicarbonatos,

⁹ Como aguas duras se consideran aquellas que requieren grandes cantidades de jabón para generar espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente y en unidades donde se incrementa la temperatura del agua, (Romero Rojas, Calidad del Agua, 2009).

entre otros, compuestos generados por las acciones cotidianas de las personas y por las actividades industriales del municipio.

Finalmente, de acuerdo con la clasificación del agua en términos de dureza presentada en Romero, 2009), se tiene que el agua en la descarga del embalse del Sisga para los años 2013, 2014 y 2016 y el agua en el sitio donde se ubica la estación Limnigráfica Saucio para los años 2013 y 2014 se considera agua blanda ya que el valor de la dureza total se encuentra entre 0 y 75 mg/l, mientras que el agua en la estación Limnigráfica Saucio y aguas abajo del municipio de Chocontá en el año 2016 se considera moderadamente dura, ya que sus valores se encuentran entre 75 y 150 mg/l.

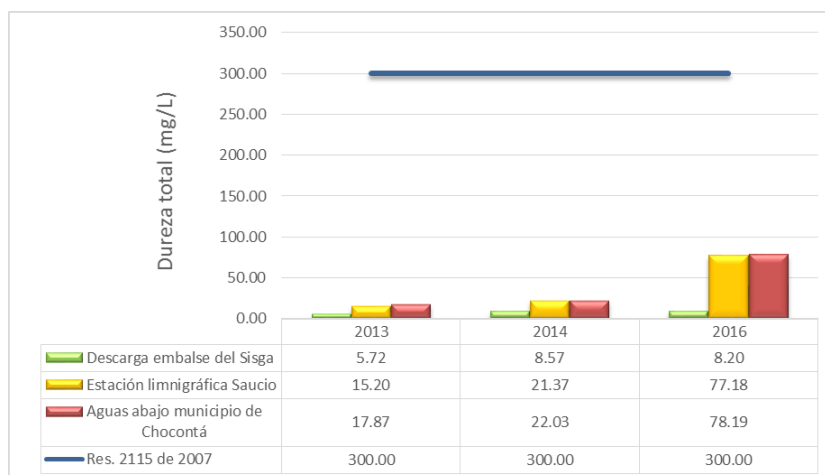


Figura 15. Comparación del parámetro Dureza Total.
Fuente: Elaboración propia

El siguiente parámetro analizado es el hierro, el cual es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y en aguas subterráneas. De acuerdo a la Figura 16, el valor del hierro de las muestras, sobrepasa el valor de hierro admisible para consumo humano el cual es de 0.3 mg/l. Como se observa en la figura, para los años 2014 y 2015 el valor del hierro más alto se presenta en la descarga del embalse del Sisga con un valor máximo de 3.23 mg/l para el año 2015, cuyo valor puede presentarse debido a que el hierro ferroso es una forma soluble invisible existente principalmente en medios carentes de OD (Oxígeno

Disuelto) y con pH bajo como aguas subterráneas y el hipolimnion¹⁰ de los embalses, de acuerdo a lo expresado en Romero, (2009) .

Aunque éste parámetro no cumple con lo establecido en la Resolución 2115 de 2007, para Romero,(2009)

El consumo humano de aguas ricas en hierro y manganeso no tiene efectos nocivos para la salud; sin embargo, dichas aguas, al ser expuestas al oxígeno del aire, se hacen turbias y se colorean por la presencia de los óxidos de hierro y manganeso de color carmelita.

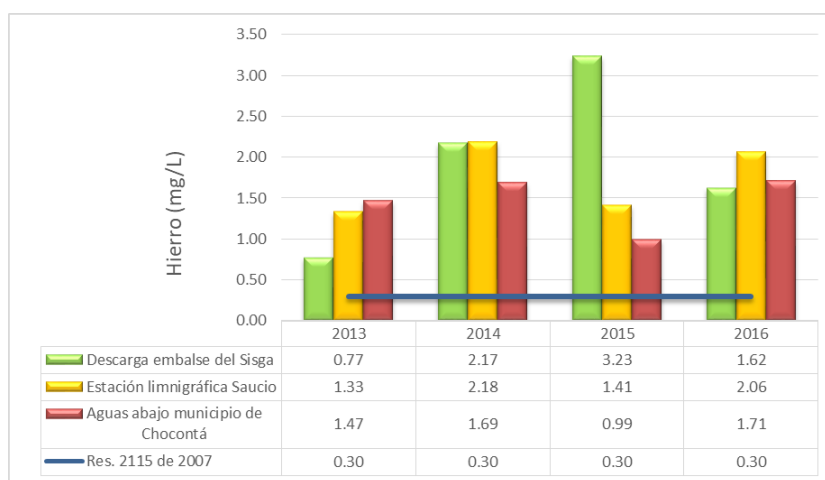


Figura 16. Comparación del parámetro Hierro.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 17, se observa cómo los valores de sulfato (compuesto común en aguas naturales) para los años 2013, 2015 y 2016 en los tres sitios de muestra se encuentran por debajo del valor máximo admisible exigido por la norma, establecido en 250 mg/l. Los valores de sulfato más altos para los años 2013 y 2015 se presentan en el sitio donde se ubica la estación Limnigráfica Saucio con un valor máximo de 65.9 mg/l en el año 2015, mientras que para el año 2016 el valor máximo correspondiente a 62.8 mg/l se presenta aguas abajo del municipio de Chocontá. De acuerdo a Romero, (2009), el valor máximo de

¹⁰ Región baja de todos los lagos en la cual se encuentra el agua más fría y densa.

sulfatos en aguas de consumo humano (250 mg/l) se recomienda debido a que este compuesto tiene efectos purgantes en los humanos, especialmente en los niños.

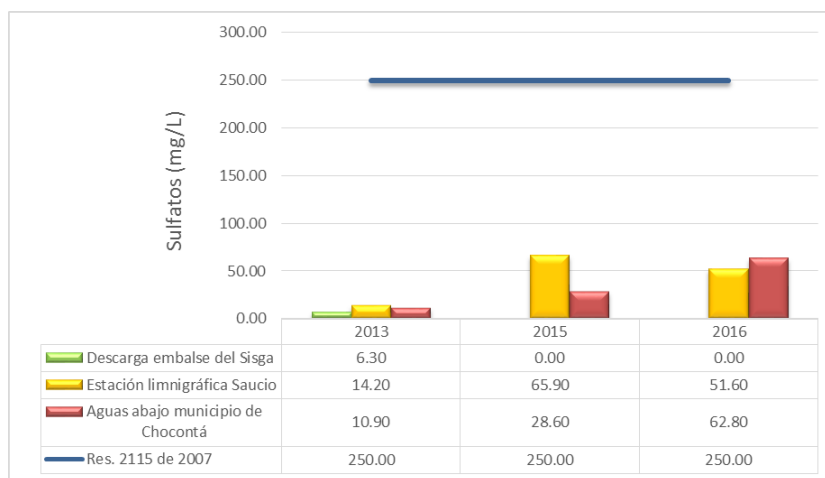


Figura 17. Comparación del parámetro Sulfatos.
Fuente: Elaboración propia

Según el análisis, la turbidez¹¹ del agua de las tres muestras tomadas por al CAR, como se observa en Figura 18, para los años 2013 a 2016 y para los tres sitios de muestra, supera en gran cantidad (aproximadamente 50 UTN) el valor máximo admisible por la normatividad para agua de consumo humano, el cual corresponde a 2 UTN. Para todos los años evaluados, el sitio ubicado aguas abajo del municipio de Chocontá es el que presenta los valores más altos de turbidez con un valor máximo de 51.8 UTN en el año 2014. Para las cercanías al municipio de Chocontá, los valores más altos de turbidez, se presentan debido a que, como se mencionó con anterioridad, en este sitio hay presencia de población, con lo cual se genera intervención en las aguas del río haciendo que la turbidez aumente en comparación con zonas despobladas o con poca presencia de personas como lo es la descarga del embalse del Sisga.

¹¹ Expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua, (Romero Rojas, Calidad del Agua, 2009).

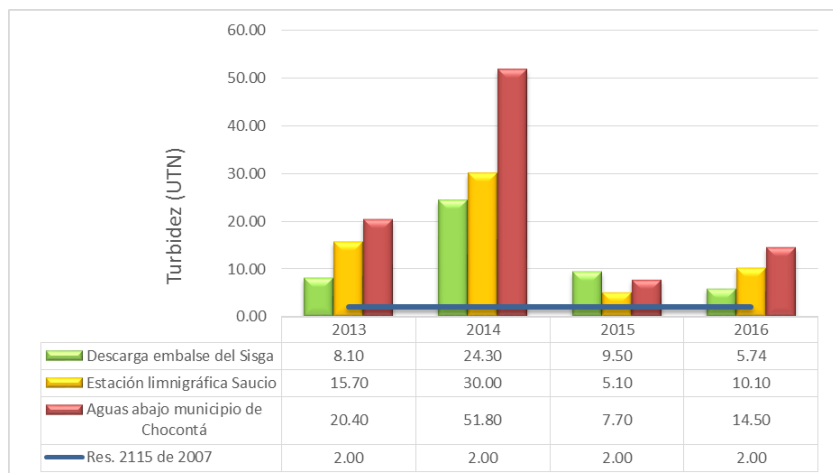


Figura 18. Comparación del parámetro Turbidez.
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se realiza la comparación de los coliformes totales los cuales deben ser de 0 NMP / 100 mL para el agua potable. Como se observa en la Figura 19, ninguna de las muestras en ninguno de los años cumple con lo establecido en la Resolución 2115 de 2007, mientras que los valores de coliformes totales en la descarga del embalse del Sisga para los años 2013 a 2016 se encuentran por debajo del valor admisible, para las demás muestras éste parámetro también excede el valor admisible de coliformes totales de agua para uso agrícola.

Es de esperarse que en cercanías al municipio de Chocontá se presentes los valores más altos debido a la carga orgánica que se genera por las descargas de las aguas residuales del municipio al río Bogotá.

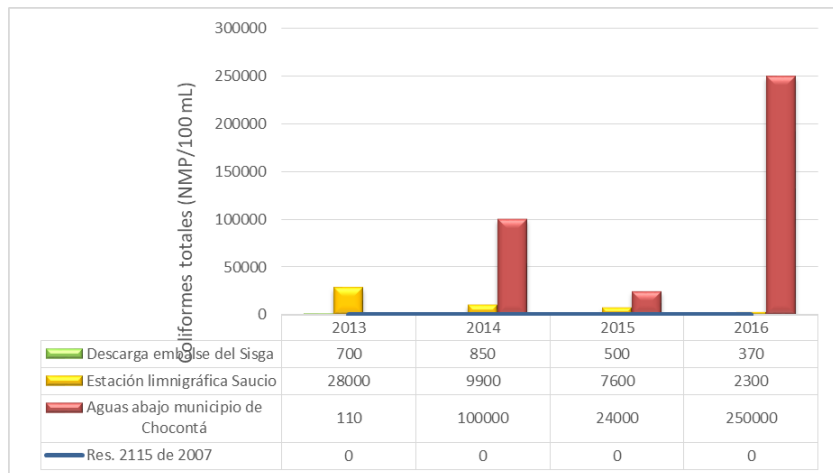


Figura 19. Comparación del parámetro Coliformes totales.
Fuente: Elaboración propia

En conclusión, el agua del río Sisga y de la zona aferente tendría que someterse a un tratamiento muy riguroso si se desea usar para consumo humano, aunque algunos parámetros no son perjudiciales para la salud, se debe cumplir con la normatividad vigente con el fin de evitar problemas de salud de los habitantes de la región. Sin embargo, el tramo analizado al no ser agua de descarga (alcantarillado) es apta para ser analizada por medio de la metodología IFIM.

Capítulo 6. Análisis Hidrológico

Para realizar el análisis hidrológico, en primer lugar, se realizó una descripción de la zona en la cual se llevó a cabo el proyecto, luego se midieron los parámetros de precipitación y temperatura que fueron tenidos en cuenta y las fuentes de información de los mismos.

6.1 Descripción de la Zona de Estudio

Para llevar a cabo el presente trabajo, se seleccionó como río característico del altiplano cundi-boyacense el río Sisga, ubicado en el departamento de Cundinamarca en el municipio de Chocontá al nororiente de la Sabana de Bogotá, la zona cuenta con una altitud aproximada de 2590 msnm y una temperatura promedio de 15°C.

El tramo de río con el cual se trabajó, es el tramo ubicado entre la zona de descarga del embalse del Sisga y la entrega de sus aguas al río Bogotá en las coordenadas 1038815.9559 E y 1053934.4638 N sobre la cordillera oriental, con una longitud aproximada de 3.2 km y una pendiente ponderada de 0.038 m/m. En la Figura 20 se presenta la ubicación general de la zona de estudio.



Figura 20. Localización general del río Sisga en el tramo de estudio.
Fuente: Google Maps

6.2 Hoya Hidrográfica de la Zona de Estudio

Para realizar el análisis de la hidrología de la zona, se tuvo en cuenta la hoya hidrográfica aferente al río Sisga hasta su desembocadura en el río Bogotá. Por hoya hidrográfica se entiende como “un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple” (Monsalve, 2006).

Para realizar el trazado de esta hoya, se tuvo en cuenta la cartografía obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, la cual hace referencia a las planchas 2008 y 2009 del año 2009 a escala 1:100000.

En la Figura 21 se presenta la ubicación general de la hoya hidrográfica (tiene un área de 151 km² aproximadamente), mientras que en la Figura 22 se presenta una localización más específica de la hoya y el tramo del río Sisga objeto de estudio del presente proyecto.

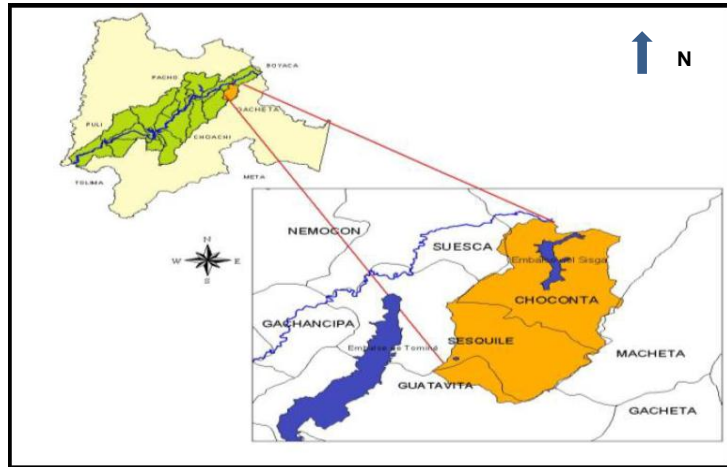


Figura 21. Localización General de la hoya hidrográfica del río Sigsa.
Fuente: (Galvis Martin, 2008)

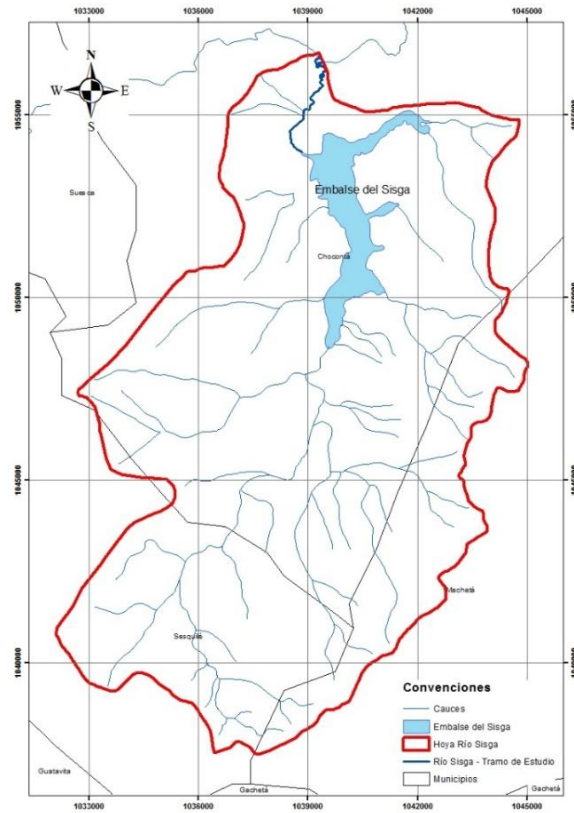


Figura 22. Hoya hidrográfica del río Sigsa.
Fuente: Elaboración propia

6.3 Cobertura del Suelo de la Zona de Estudio

Para realizar el análisis de la cobertura del suelo de la zona en donde se desarrolló el proyecto, se tuvo en cuenta la información obtenida del shape de suelos para Colombia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, dónde se presentan los diferentes usos del suelo. Ver Figura 23.

Se observa en la figura, que hay cuatro tipos de uso del suelo, la mayoría del suelo de la hoya hidrográfica, específicamente toda la zona occidental, es usada para actividades de pastoreo semiintensivo e intensivo ya que el suelo se clasifica como pastos, asimismo, esta zona se encuentra asociada a pastos naturalizados y a matorrales.

Otra parte de la hoya, aunque en menor proporción, específicamente la zona oriental de la hoya, se clasifica como Otro Tipo de Vegetación, la cual forma parte de los Parques Nacionales Naturales y áreas protegidas. En esta zona, se llevan a cabo actividades como el pastoreo de ganado ovino y bovino y cultivo de papa.

En la zona ocupada por el embalse del Sisga, el suelo se clasifica como Pantanos y Ciénagas el cual hace referencia a cuerpos de agua.

Por último, una pequeña fracción de la hoya hidrográfica del río Sisga, ubicada en la zona noroccidental, área en la cual el río Sisga entrega sus aguas al río Bogotá, está clasificada como suelo de cultivos, y es usado para agricultura tradicional con especies como frijol, maíz, yuca y otros.

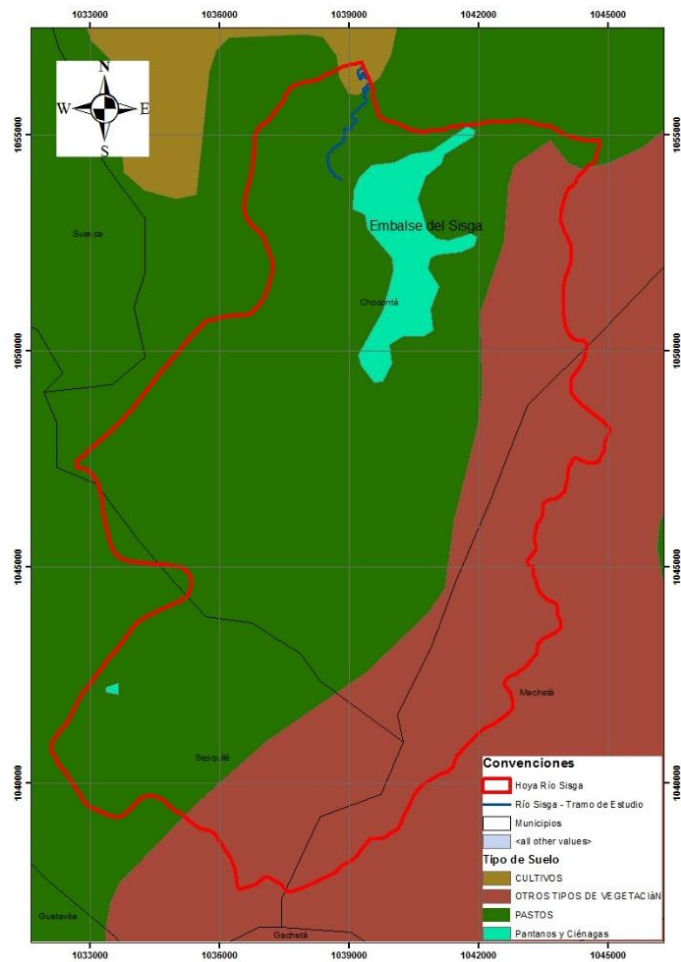


Figura 23. Cobertura de suelos.
Fuente: Elaboración propia

6.4 Análisis de la Precipitación de la Zona de Estudio

El análisis de la precipitación de la zona se realizó teniendo en cuenta la información a nivel mensual suministrada por la CAR para la estación climatológica ordinaria Represa Sisga, pluviográfica Saucio pluviométrica El Consuelo y climatológica principal La Iberia, así mismo, la información suministrada por el IDEAM para las estaciones pluviométrica Piscis, pluviométrica Panonia, climatológica ordinaria Silos, pluviométrica Hato Grande, Potrero Largo, Tasajares y El Amoladero las cuales son las más representativas de la zona de proyecto. En la Figura 24 se presenta a ubicación de las estaciones.

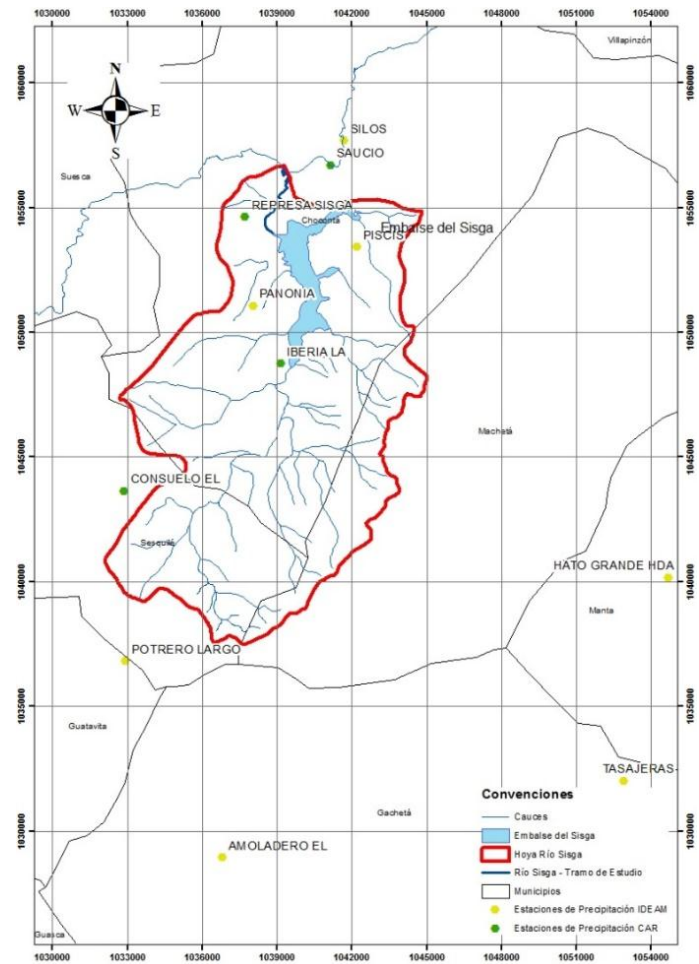


Figura 24. Localización de las estaciones medidoras de precipitación.
Fuente: Elaboración propia

6.4.1 Histogramas de precipitación total mensual.

Con la información de las estaciones mencionadas, se construyeron los histogramas de precipitación total mensual, y se determinó la precipitación media en cada estación, permitiendo caracterizar la precipitación en la zona en donde se realizó el proyecto. En el Anexo 1 se adjunta la información de los registros de la CAR e IDEAM para las estaciones representativas de la zona.

Por otro lado, en la Tabla 7 y la Tabla 8, se presenta un resumen de los valores de precipitación promedio total mensual anual de las estaciones monitoreadas por la

CAR y por el IDEAM respectivamente, usados para la construcción de los histogramas de precipitación para cada una de las estaciones.

Tabla 7. Valores de precipitación promedio total mensual a nivel multianual de las estaciones monitoreadas por la CAR (mm)

MES	ESTACIONES MONITOREADAS POR LA CAR			
	CP SISGA	PG SAUCIO	CP LA IBERIA	PM EL CONSUELO
Enero	34.0	17.9	18.0	23.6
Febrero	18.2	26.2	21.1	35.8
Marzo	50.0	51.9	44.2	65.3
Abril	87.7	92.9	77.8	95.4
Mayo	114.7	100.3	89.4	113.7
Junio	99.3	107.5	101.1	100.0
Julio	116.9	110.8	124.7	93.7
Agosto	92.8	88.7	89.6	69.3
Septiembre	52.7	66.1	59.3	62.4
Octubre	92.4	77.4	69.7	99.9
Noviembre	62.1	62.3	54.5	78.0
Diciembre	24.5	29.1	25.9	35.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Valores de precipitación promedio total mensual a nivel multianual de las estaciones monitoreadas por la IDEAM (mm)

MES	ESTACIONES MONITOREADAS POR EL IDEAM						
	PM PISCIS	PM PANONIA	CO SILOS	PM HATO GRANDE	PM POTRERO LARGO	PM TASAJARES	PM EL AMOLADERO
Enero	15.8	25.1	16.7	35.1	35.3	49.4	39.8
Febrero	33.6	34.2	37.0	71.5	49.1	81.4	65.0
Marzo	63.6	70.6	59.0	119.8	72.4	139.4	109.3
Abril	105.7	103.3	95.7	202.3	95.4	200.8	175.7
Mayo	163.1	124.6	110.6	271.1	137.8	243.7	230.4
Junio	219.0	142.6	139.1	289.4	173.2	250.8	268.3
Julio	250.7	146.9	151.8	297.0	187.7	231.4	267.6
Agosto	173.1	118.7	109.0	236.2	127.0	180.2	183.4
Septiembre	89.6	82.1	71.3	173.4	69.7	144.9	127.4
Octubre	91.9	99.0	77.8	192.2	108.1	191.8	144.7
Noviembre	78.1	87.3	68.0	164.1	92.2	187.7	121.3
Diciembre	29.3	34.5	32.9	67.7	48.9	89.9	69.7

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los histogramas de precipitación de la hoya hidrográfica del río Sisga en la zona de estudio.

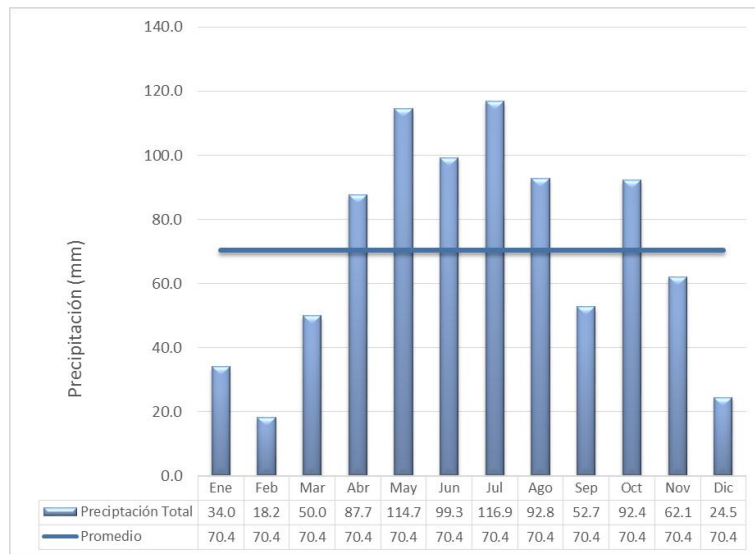


Figura 25. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Represa Sisga (Cod: 2120539).
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 25, se observa que para la estación pluviométrica Represa Sisga, se presenta un promedio de precipitación de 70.4 mm, con periodos lluviosos de abril a agosto y el mes de octubre con valores por encima del promedio y un valor máximo de precipitación de 116.9 mm en el mes de julio, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y los meses de septiembre, noviembre y diciembre con un valor mínimo de precipitación de 18.2 mm en el mes de febrero. En esta estación el régimen de lluvias es de tipo bimodal, es decir, se presentan dos periodos lluviosos. Finalmente se obtiene un valor total anual de para todo el periodo de registro precipitación de 845.3 mm.

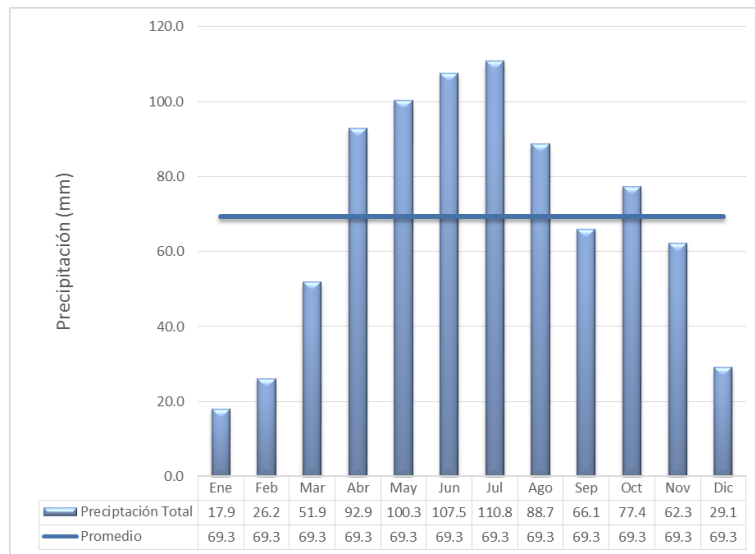


Figura 26. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviográfica Saucio (Cod: 2120027).
Fuente: Elaboración propia

La Figura 26 muestra que para la estación pluviográfica Saucio se presenta un promedio de precipitación de 69.3 mm, con periodos lluviosos de abril a agosto y el mes de octubre, con valores por encima del promedio y un valor máximo de precipitación de 110.8 mm en el mes de julio, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y los meses de septiembre, noviembre y diciembre con un valor mínimo de precipitación de 17.9 mm en el mes de enero. En esta estación, el régimen de lluvias es de tipo bimodal. Finalmente se obtiene un valor total anual de precipitación para todo el periodo de registro de 831.1 mm.

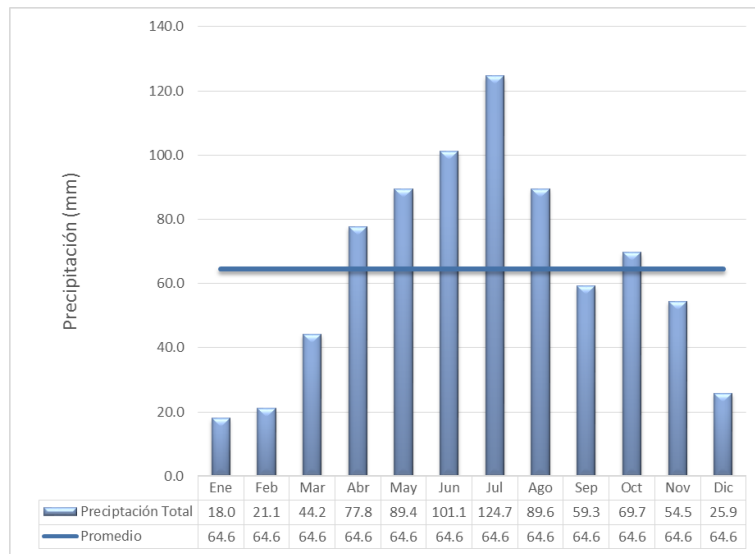


Figura 27. Histograma de precipitación promedio total mensual y anula multianual para la estación climatológica principal Iberia (Cod: 2120548).
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 27 se observa que, para la estación climatológica principal La Iberia, se presenta un promedio de precipitación de 64.6 mm, con periodos lluviosos de abril a agosto y el mes de octubre con valores por encima del promedio y un valor máximo de precipitación de 124.7 mm en el mes de julio, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y los meses de septiembre, noviembre y diciembre con un valor mínimo de precipitación de 18.0 mm en el mes de enero. En esta estación el régimen de lluvias es de tipo bimodal. Finalmente, se obtiene un valor total anual de precipitación para todo el periodo de registro de 775.4 mm.

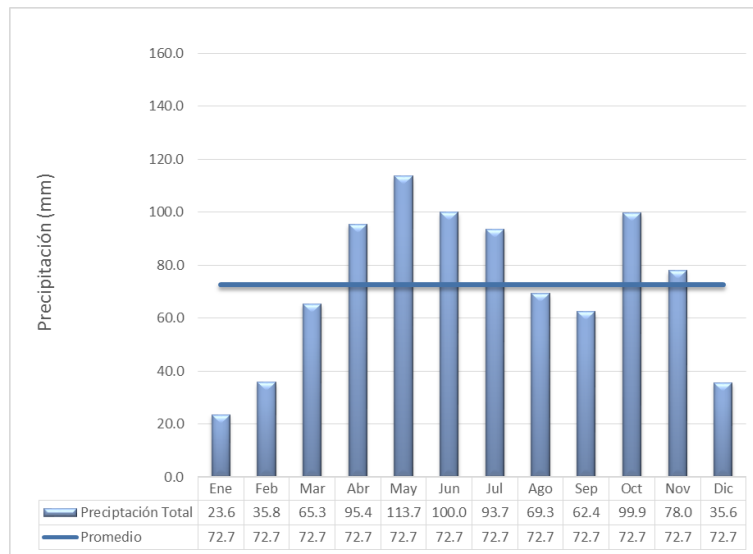


Figura 28. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica El Consuelo (Cod: 2120096).
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 28 se muestra que para la estación pluviométrica El Consuelo, se presenta un promedio de precipitación de 72.7 mm, con periodos lluviosos de abril a julio y los meses de octubre y noviembre con valores por encima del promedio y un valor máximo de precipitación de 113.7 mm en el mes de mayo, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y los meses de agosto, septiembre y diciembre con un valor mínimo de precipitación de 23.6 mm en el mes de enero. En esta estación, el régimen de lluvias es de tipo bimodal. Finalmente se obtiene un valor total anual de precipitación para todo el periodo de registro de 872.6 mm.

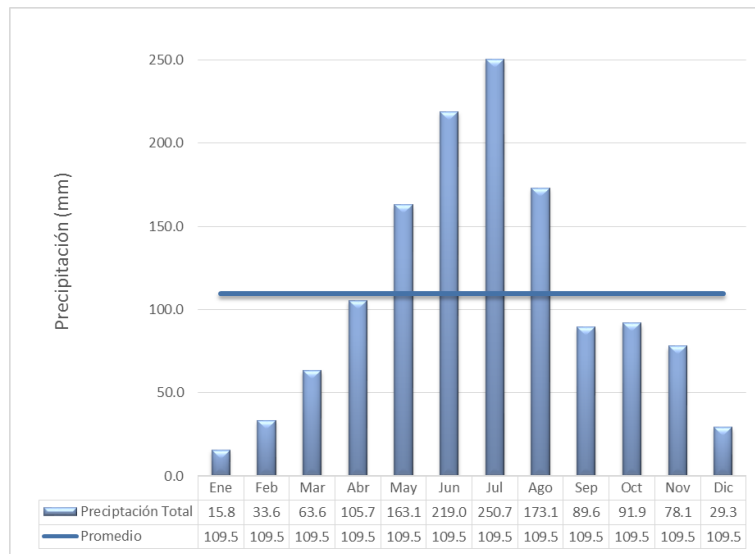


Figura 29. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Piscis (Cod: 2120062).
Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Figura 29, que para la estación pluviométrica Piscis el promedio de precipitación es de 109.5 mm, con un periodo lluvioso de mayo a agosto y valores por encima del promedio, siendo el máximo de precipitación de 250.7 mm en el mes de julio, y periodos de poca lluvia de enero a abril y de septiembre a diciembre con un mínimo de precipitación de 15.8 mm en el mes de enero. En esta estación el régimen de lluvias es de tipo monomodal, es decir, se presenta un periodo lluvioso. Finalmente, se obtiene un valor total anual de precipitación para todo el periodo de registro de 1313.5 mm.

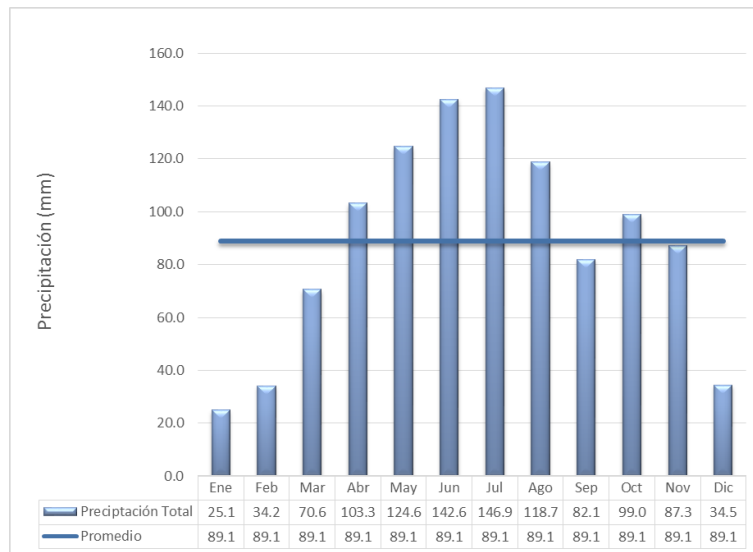


Figura 30. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Panonia (Cod: 2120016).
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 30, para la estación pluviométrica Panonia se presenta un promedio de precipitación de 89.1 mm, con periodos lluviosos de abril a agosto y el mes de octubre con valores por encima del promedio y un máximo de precipitación de 146.9 mm en el mes de julio, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y los meses de septiembre, noviembre y diciembre con un mínimo de precipitación de 25.1 mm en el mes de enero. En esta estación el régimen de lluvias es de tipo bimodal. Finalmente se obtiene un valor total anual de precipitación para todo el periodo de registro de 1068.8 mm.

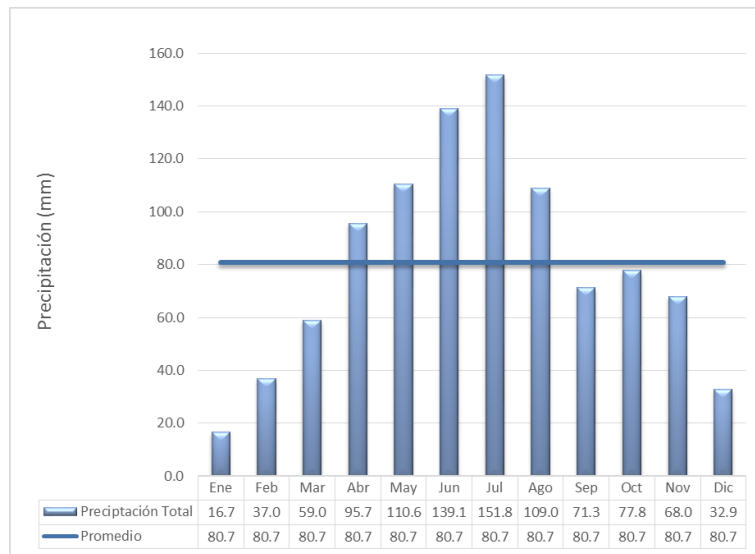


Figura 31. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación climatológica ordinaria Silos (Cod: 2120574).
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 31, se observa que, para la estación climatológica ordinaria Silos, se presenta un promedio de precipitación de 80.7 mm, con un periodo lluvioso de abril a agosto con valores por encima del promedio y un máximo de precipitación de 151.8 mm en el mes de julio, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y de septiembre a diciembre con un mínimo de precipitación de 16.7 mm en el mes de enero. En esta estación el régimen de lluvias es de tipo monomodal. Finalmente se obtiene un valor total anual para todo el periodo de registro de precipitación de 968.7 mm.

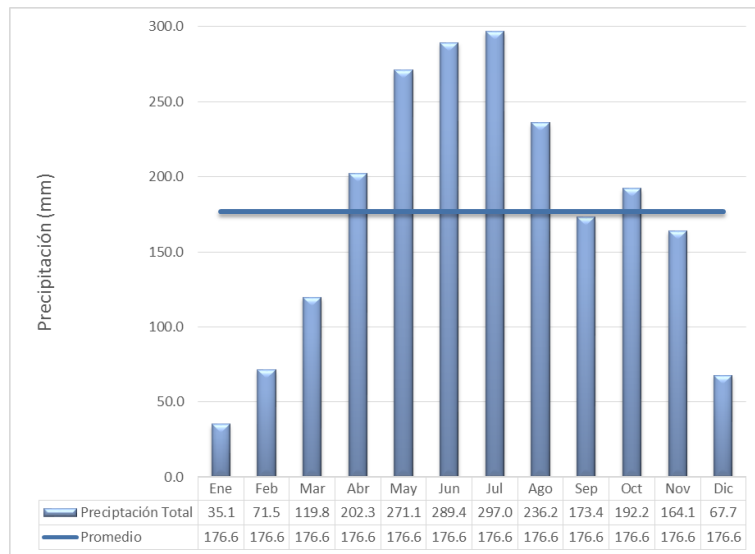


Figura 32. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la pluviométrica Hato Grande (Cod: 3507049).
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 32, para la estación pluviométrica Hato Grande, se presenta un promedio de precipitación de 176.6 mm, con un periodo lluvioso de abril a agosto y el mes de octubre con valores por encima del promedio y un valor máximo de precipitación de 297 mm en el mes de julio, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y los meses de septiembre, noviembre y diciembre con un valor mínimo de precipitación de 35.1 mm en el mes de enero. En esta estación el régimen de lluvias es de tipo bimodal. Finalmente se obtiene un valor total anual de precipitación para todo el periodo de registro de 2119.7 mm.

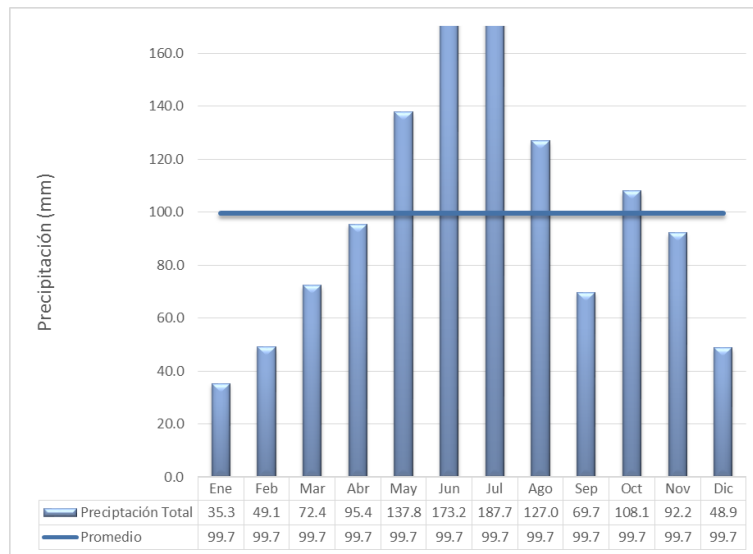


Figura 33. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Potrero Largo (Cod: 2120078).
Fuente: Elaboración propia

Para la estación pluviométrica Potrero Largo y como se muestra en la Figura 33, se presenta un promedio de precipitación de 99.7 mm, con un periodo lluvioso de mayo a agosto y el mes de octubre con valores por encima del promedio, un máximo de precipitación de 297 mm en el mes de julio, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y los meses de septiembre, noviembre y diciembre con un mínimo de precipitación de 35.1 mm en el mes de enero. En esta estación el régimen de lluvias es de tipo bimodal. Finalmente se obtiene un valor total anual de precipitación para todo el periodo de registro de 1196.7 mm.

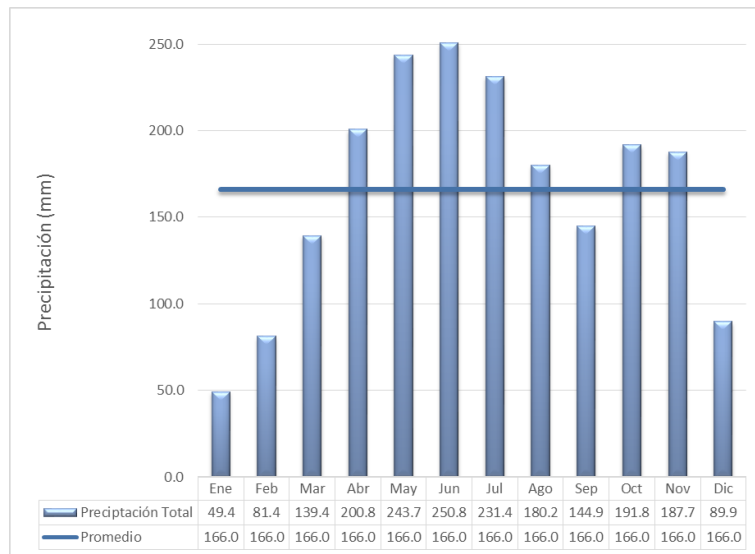


Figura 34. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica Tasajares (Cod: 3506017).
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 34 se observa que, para la estación pluviométrica Tasajares se presenta un promedio de precipitación de 166.0 mm, con periodos lluviosos de abril a agosto y los meses de octubre y noviembre con valores por encima del promedio y un máximo de precipitación de 250.8 mm en el mes de junio, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y los meses de septiembre y diciembre con un mínimo de precipitación de 49.4 mm en el mes de enero. En esta estación el régimen de lluvias es de tipo bimodal. Finalmente se obtiene un valor total anual de precipitación para todo el periodo de registro de 1991.5 mm.

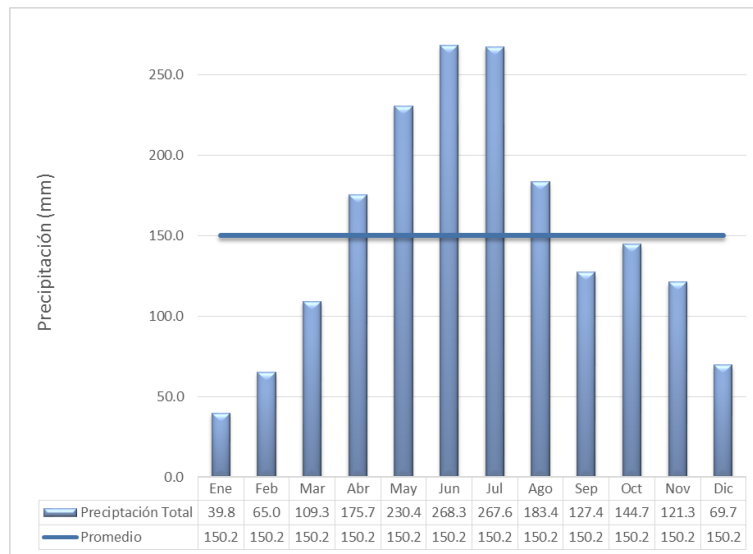


Figura 35. Histograma de precipitación promedio total mensual y anual multianual para la estación pluviométrica El Amoladero (Cod: 35060200).
Fuente: Elaboración propia

Para finalizar, se muestra en la Figura 35 para la estación pluviométrica El Amoladero, un promedio de precipitación de 150.2 mm, con un periodo lluvioso de abril a agosto con valores por encima del promedio, un máximo de precipitación de 268.3 mm en el mes de junio, y periodos de poca lluvia de enero a marzo y de septiembre a diciembre con un mínimo de precipitación de 39.8 mm en el mes de enero. En esta estación el régimen de lluvias es de tipo monomodal. Finalmente se obtiene un valor total anual para todo el periodo de registro de precipitación de 1802.6 mm.

6.4.2 Isolíneas de precipitación.

Otra forma de realizar el análisis de la precipitación es por medio de las isolíneas de precipitación, con la información suministrada por la CAR y el IDEAM y el uso del programa computacional ArcGis, se realizó el mapa de isolíneas teniendo en cuenta el método de Kriging, el cual, es un método de análisis geoestadístico de interpolación basado en modelos estadísticos que implican autocorrelación entre las

diferentes variables, es decir, “dicho método provee, a partir de una muestra de puntos, ya sean regular o irregularmente distribuidos, valores estimados de aquellos sitios donde no hay información, sin sesgo y con una varianza mínima conocida” (FAO, 2001). El mapa de precipitación de la hoya hidrográfica del río Sisga se presenta en la Figura 36.

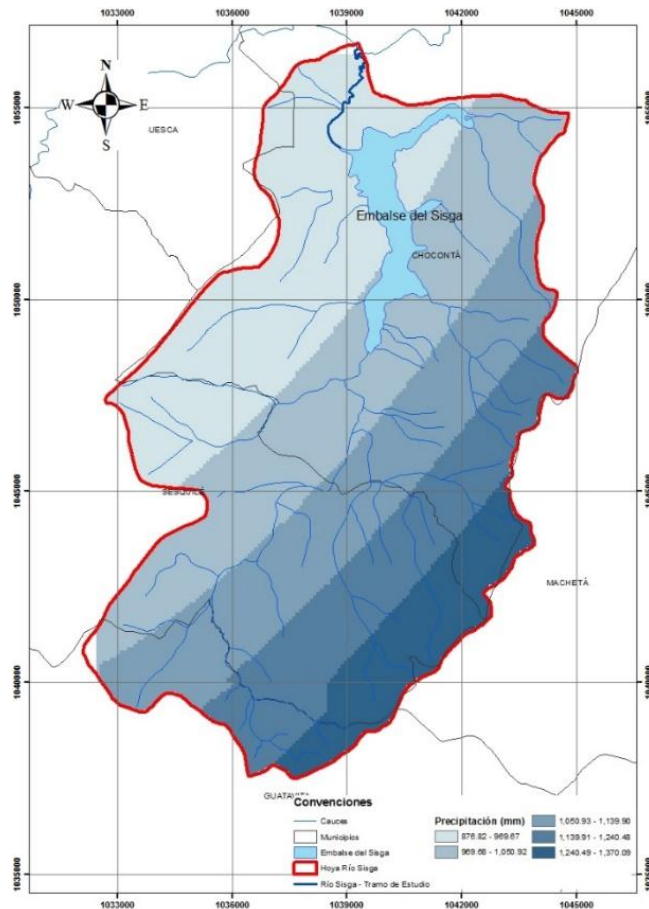


Figura 36. Isolíneas de precipitación de la hoya hidrográfica del río Sisga.
Fuente: Elaboración propia

Por lo anterior, se observa que las precipitaciones en la zona de estudio varían entre un mínimo de 876.82 mm en la zona noroccidental de la hoya (zona en la cual se ubica el tramo del río en estudio) y un máximo de 1370.00 mm en la zona suroriental de la hoya hidrográfica. La precipitación en la zona central de la hoya varía entre 1050.92 mm y 1240.48 mm.

6.5 Análisis de la Temperatura de la Zona de Estudio

El análisis de la temperatura de la zona se realizó teniendo en cuenta la información a nivel mensual suministrada por la CAR para la estación climatológica principal La Iberia y Guatavita, y la información suministrada por el IDEAM para la estación climatológica ordinaria Silos y Gachetá las cuales son las más representativas de este parámetro para la zona de proyecto. En la Figura 37 se presenta a ubicación de las estaciones.

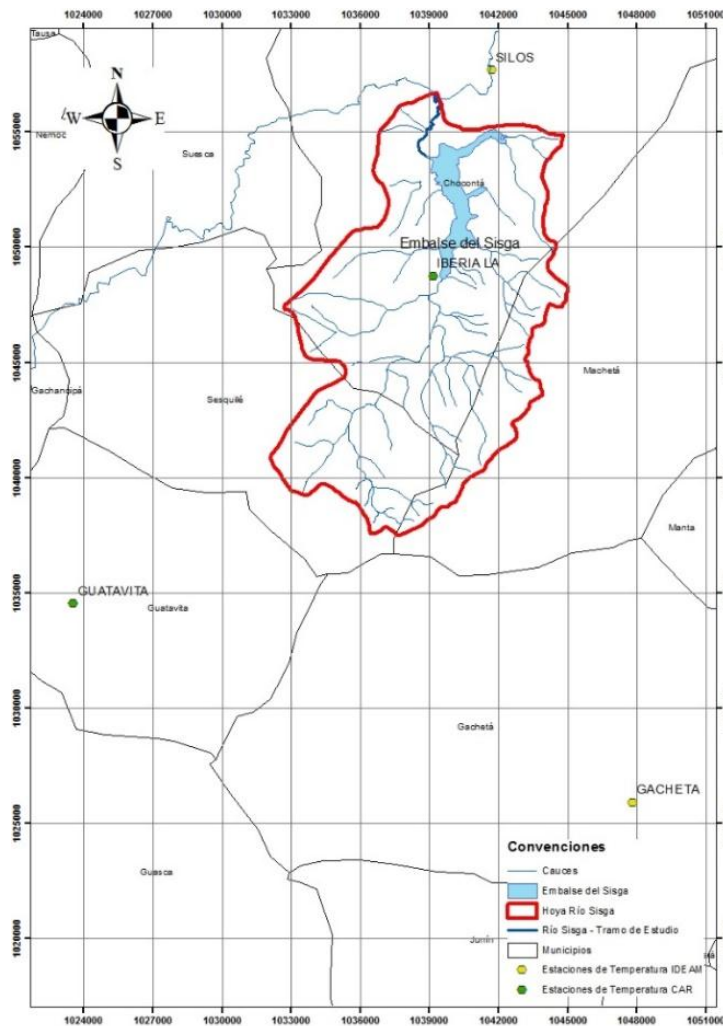


Figura 37. Localización de las estaciones medidoras de temperatura.
Fuente: Elaboración propia

6.5.1 Histogramas de temperatura media mensual.

Con la información de las estaciones que hacen parte de la zona objeto de estudio, se construyeron los histogramas de temperatura media mensual, con el fin de calcular la temperatura media de la zona en donde se realiza el proyecto. En el Anexo 1 se puede observar la información obtenida de los registros de la CAR e IDEAM para las estaciones representativas.

Por otro lado, en la Tabla 9 se presentan un resumen de los valores de Temperatura promedio total mensual anual usados para la construcción de los histogramas de temperatura para cada una de las estaciones.

Tabla 9. Valores de temperatura media mensual a nivel multianual (°C)

MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL A NIVEL MULTIANUAL (°C)			
	ESTACIONES MONITOREADAS POR LA CAR		ESTACIONES MONITOREADAS POR EL IDEAM	
	CP LA IBERIA	CP GUATAVITA	CO SILOS	CO GACHETÁ
Enero	11.9	13.3	12.0	18.9
Febrero	12.2	13.4	12.4	19.4
Marzo	12.4	13.7	12.7	19.5
Abril	12.6	13.7	12.7	19.3
Mayo	12.6	13.6	12.6	19.1
Junio	12.2	12.8	11.8	18.5
Julio	11.7	12.4	11.3	18.1
Agosto	11.7	12.6	11.6	18.3
Septiembre	11.8	12.9	11.9	18.7
Octubre	12.4	13.1	12.4	19.1
Noviembre	12.6	13.0	12.7	19.2
Diciembre	12.0	13.1	12.2	18.8

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los histogramas de temperatura media de las estaciones representativas para la hoya hidrográfica del río Sisga en la zona de estudio.

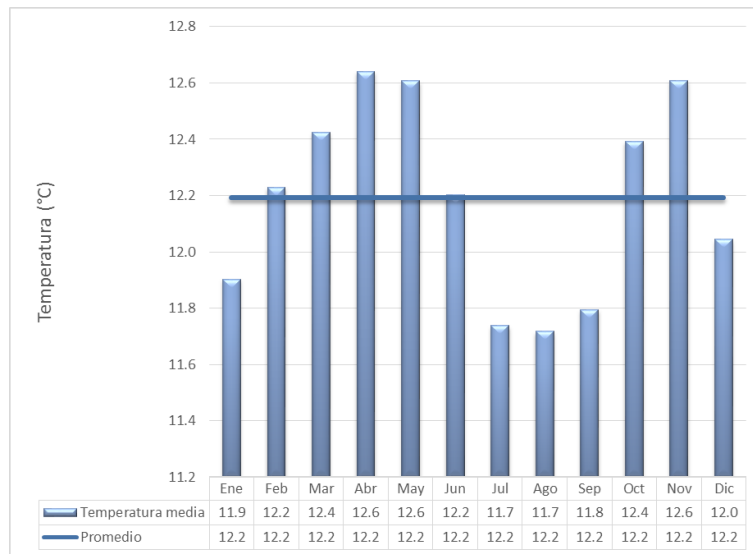


Figura 38. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual para la estación climatológica principal La Iberia (Cod: 2120548).
Fuente: Elaboración propia

Para la estación climatológica principal La Iberia y como se refleja en la Figura 38, se presenta un promedio de temperatura de 12.2°C, con periodos temperaturas mayores de febrero a junio y los meses de octubre y noviembre, por encima del promedio, siendo la temperatura máxima de 12.6°C en el mes de abril, y periodos de temperaturas menores en el mes de enero, de julio a septiembre y el mes de diciembre con un mínimo de temperatura de 11.7°C en el mes de agosto. En esta estación el régimen de temperatura es de tipo bimodal.

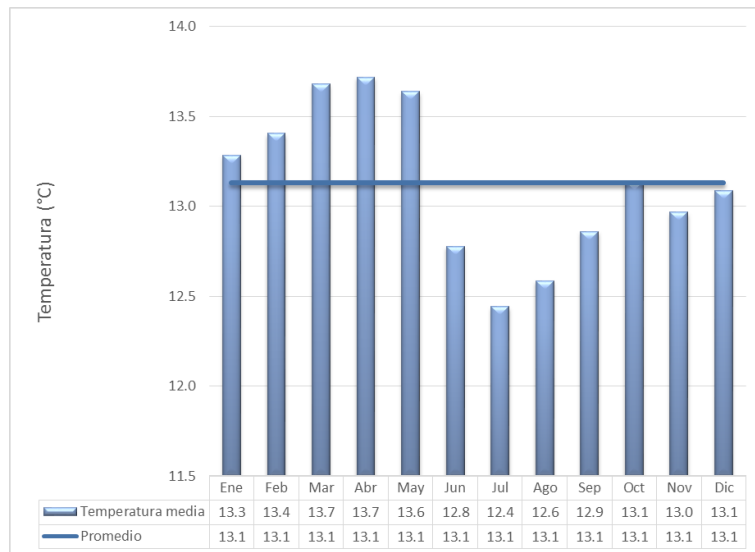


Figura 39. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual para la estación climatológica principal Guatavita (Cod: 2120562).
Fuente: Elaboración propia

En la estación climatológica principal Guatavita, se presenta un promedio de temperatura de 13.1°C, con periodos temperaturas mayores en los meses de enero a mayo con valores por encima del promedio, con un valor máximo de temperatura de 13.7°C en el mes de abril, y periodos de temperaturas menores en los meses de junio a diciembre con un mínimo de temperatura de 12.4°C en el mes de julio. En esta estación el régimen de temperatura es de tipo monomodal, tal como se evidencia en la Figura 39.

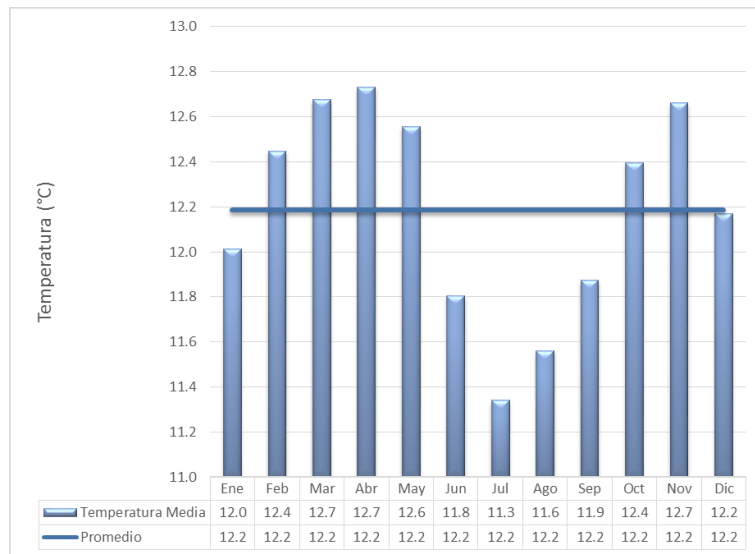


Figura 40. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual para la estación climatológica ordinaria Silos (Cod: 2120574).
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 40, para la estación climatológica ordinaria Silos, se presenta un promedio de temperatura de 12.2°C, con periodos de temperaturas mayores de febrero a mayo y los meses de octubre y noviembre, siendo valores por encima del promedio, un máximo de temperatura de 12.7°C en el mes de abril, y periodos de temperaturas menores en el mes de enero, de junio a septiembre y el mes de diciembre con un mínimo de temperatura de 11.3°C en el mes de julio. En esta estación el régimen de temperatura es de tipo bimodal.

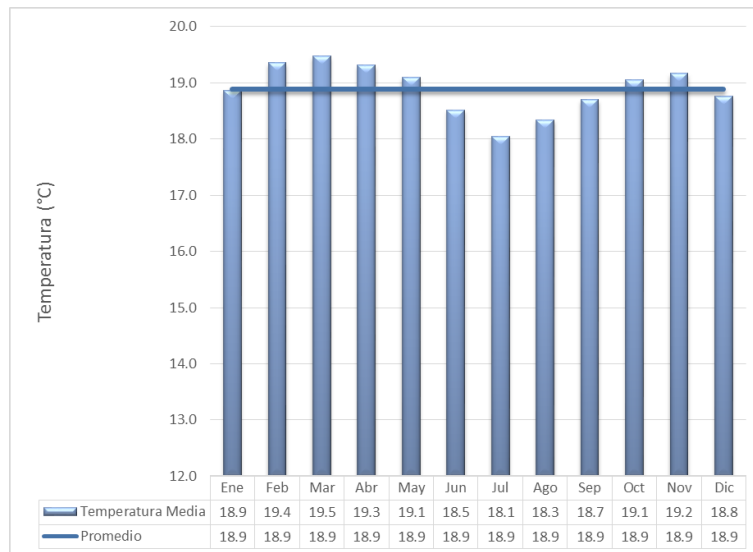


Figura 41. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual para la estación climatológica ordinaria Silos (Cod: 2120574).
Fuente: Elaboración propia

Finalmente en la Figura 41 se observa que para la estación climatológica ordinaria Gachetá, se presenta un promedio de temperatura de 18.9°C, con periodos de temperaturas mayores de febrero a mayo y los meses de octubre y noviembre con valores por encima del promedio y un máximo de temperatura de 19.5°C en el mes de marzo, y periodos de temperaturas menores en el mes de enero, de junio a septiembre y el mes de diciembre con un mínimo de temperatura de 18.1°C en el mes de julio. En esta estación el régimen de temperatura es de tipo bimodal.

6.5.2 Mapa de temperatura.

Otra forma de realizar el análisis de la temperatura es por medio del análisis espacial mediante un mapa de temperatura de la zona, por esto, con la información suministrada por la CAR y el IDEAM se realizó el mapa de temperatura de la zona.

Debido a que la temperatura depende de la altura, se creó una gráfica de la relación entre la temperatura media anual y la altura a la cual se encuentran ubicadas las estaciones, esto, con el fin de obtener la ecuación que relaciona estos dos

parámetros. En la Figura 42 se presenta la gráfica y la ecuación obtenida de la relación Altura vs. Temperatura.

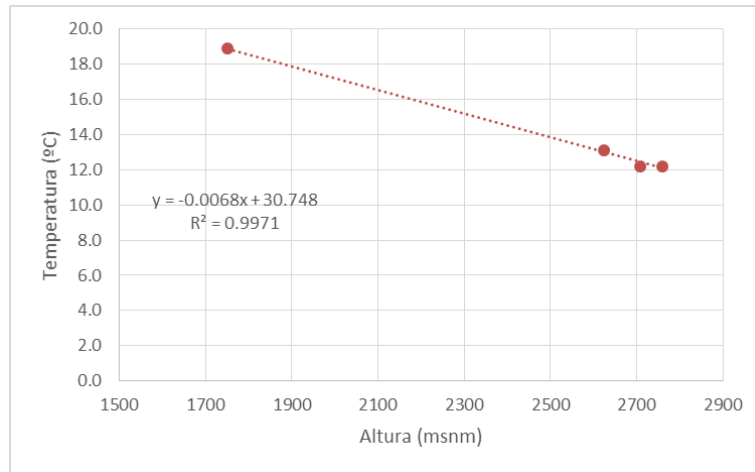


Figura 42. Relación de Altura vs. Temperatura Media Anual.
Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, con ayuda del programa computacional ArcGis se construyó el mapa de temperatura de la hoya hidrográfica del río Sisga, la cual se presenta en la Figura 43, en esta, se observa que hacia el centro y norte de la hoya hidrográfica se presentan las mayores temperaturas con valores que varían entre 11.0 y 13.5°C, mientras que, hacia las zonas limítrofes de la hoya hidrográfica y la zona suroriental se presentan las temperaturas más bajas con valores entre 7.8 y 11.0°C. De igual forma, se indica que, como es de esperarse, las zonas más frías se encuentran hacia los páramos y las zonas más cálidas en las zonas más bajas de la hoya.

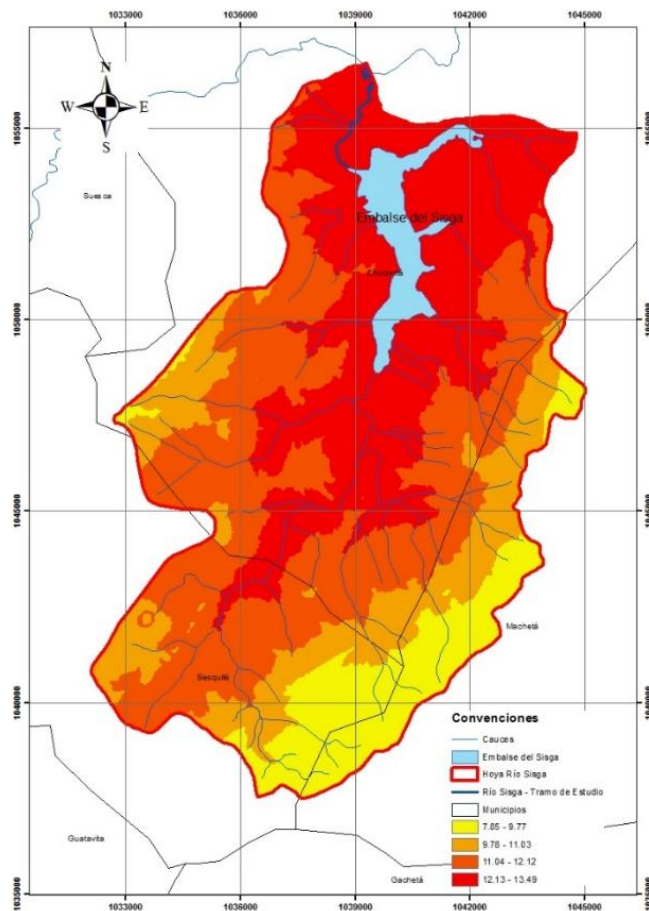


Figura 43. Mapa de temperatura del río Sisga.
Fuente: Elaboración propia

6.6 Caudales Medios Mensuales

Para realizar la modelación en PHABSIM, fue necesario conocer la serie de caudales medios mensuales del tramo del río Sisga en estudio. El análisis se realizó para las condiciones antes y después del proyecto, por tal razón, se tuvo en cuenta los caudales medios medidos en dos estaciones de la siguiente manera:

- Antes de proyecto: para este caso, se tuvo en cuenta los caudales medios de la estación La Iberia ubicada aguas arriba de la represa del Sisga. Para su análisis, se realizó la transposición de los registros al sitio de la descarga

de la represa con el fin de analizar la zona, simulando las condiciones anteriores a la construcción del embalse.

- Después de proyecto: en este caso se tomaron los caudales medios medidos en la estación Represa Sisga, ubicada en el sitio de descarga. Esta estación registra las descargas mensuales que hace la represa, y de esta manera se analizó la zona con la regulación de las descargas por medio del embalse.

La estación limnigráfica La Iberia, cuenta con un periodo de registro de 22 años, desde el año 1993 hasta el año 2014, mientras que la estación Represa Sisga con un periodo de registro de 64 años, desde el año 1952 hasta el año 2015, lo cual indica que la información de las dos estaciones es adecuada y confiable para llevar a cabo la modelación. Cabe mencionar que los datos de caudal de las dos estaciones fueron suministrados por la CAR.

En la Tabla 10, se presenta el registro de caudales medios mensuales de la estación limnigráfica La Iberia, mientras que en la Tabla 11 se presenta el registro de las descargas (caudales) medias mensuales para la estación Embalse del Sisga.

Tabla 10. Registro de caudales medios mensuales para la Estación La Iberia

C A R - CORPORACION AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES (m³/s) ESTACION: 2120870 LA IBERIA													
Latitud	X=N=1048320	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	R. SAN FRANCISCO	Categoría	LG						
Longitud	Y=E=1039460	Municipio	CHOCONTA	Cuenca	EMB. SISGA	Fecha Instalación	Ene-85						
Elevación	2650 m.s.n.m	Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión							
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.17	4.70	2.24	1.29	0.67	0.81	0.54	1.12
1994	0.25	0.16	0.21	0.28	1.53	2.79	4.28	2.30	1.99	2.04	0.82	0.50	1.43
1995	0.18	0.13	0.32	0.61	0.99	1.54	2.41	1.55	0.51	0.52	0.37	0.29	0.78
1996	0.17	0.44	0.96	0.60	2.35	2.89	4.15	3.24	0.80	1.04	0.27	0.36	1.44
1997	0.53	0.56	0.20	0.37	1.32	1.45	6.98	2.95	0.50	0.19	0.18	0.13	1.28
1998	0.07	0.06	0.03	0.25	1.96	4.38	4.94	2.13	0.53	0.68	0.96	1.40	1.45
1999	0.23	0.75	1.16	2.82	1.56	3.36	2.56	1.70	3.92	3.62	0.73	0.42	1.90
2000	0.26	0.21	0.37	0.35	1.98	4.33	3.11	3.95	2.93	1.63	1.80	0.50	1.78
2001	0.21	0.13	0.15	0.17	0.26	4.53	5.89	2.81	2.78	0.74	1.03	1.26	1.66
2002	0.08	0.17	0.37	1.44	3.09	4.03	3.87	5.13	0.92	0.64	0.56	0.20	1.71
2003	0.08	0.10	0.19	0.16	0.60	0.69	1.44	4.12	1.39	0.67	1.64	1.22	1.02
2004	0.33	0.14	0.26	1.23	3.54	6.46	3.07	3.61	1.61	1.42	0.97	0.32	1.91
2005	0.18	0.16	0.10	0.88	2.75	1.57	1.68	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.08
2006	0.17	0.12	0.48	1.98	3.77	3.94	3.55	1.66	0.98	2.31	1.84	0.54	1.78

C A R - CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES (m³/s)
ESTACIÓN: 2120870 LA IBERIA

Latitud X=N=1048320 Departamento CUNDINAMARCA Corriente R. SAN FRANCISCO Categoría LG
 Longitud Y=E=1039460 Municipio CHOCONTA Cuenca EMB. SISGA Fecha Instalación Ene-85
 Elevación 2650 m.s.n.m Oficina Provincial 2 ALMEIDAS - GUATAVITA Fecha Suspensión

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2007	0.17	0.10	0.13	0.67	1.08	2.89	1.92	1.76	1.20	1.71	1.05	0.37	1.09
2008	0.33	0.20	0.20	0.41	1.83	3.24	3.37	2.10	1.07	1.29	2.58	0.80	1.45
2009	0.47	0.30	0.33	0.51	0.95	1.26	3.07	2.55	1.22	0.94	0.49	0.11	1.02
2010	0.08	0.09	0.10	0.86	1.97	2.33	2.80	1.35	0.87	1.42	2.02	1.13	1.25
2011	0.31	0.28	1.71	5.92	4.70	3.51	2.04	1.34	1.56	3.28	3.86	1.73	2.52
2012	0.35	0.24	0.63	4.17	2.29	2.15	5.69	2.84	1.66	1.54	0.70	0.31	1.88
2013	0.07	0.04	0.20	0.43	3.29	1.67	2.64	2.56	1.31	0.88	1.65	0.83	1.30
2014	0.11	0.03	0.22	0.48	0.91	4.61	5.07	2.31	2.18	0.97			1.69

Fuente: CAR

Tabla 11. Registro de descargas medias diarias para la Estación Embalse del Sisga

C A R - CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
DESCARGAS MEDIAS (m³/s)
ESTACIÓN: 2120744 REPRESA SISGA

Latitud X=N=1053800 Departamento CUNDINAMARCA Corriente EMB. SISGA Categoría
 Longitud Y=E=1038900 Municipio CHOCONTA Cuenca EMB. SISGA Fecha Instalación ene-52
 Elevación 2670 m.s.n.m Regional ZIPAQUIRÁ Fecha Suspensión

AÑO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
1952	4.30	6.20	8.10	3.60	0.00	0.00	0.00	2.00	6.40	5.10	0.10	0.00	2.98
1953	5.30	4.30	4.00	6.40	1.30	0.00	0.00	0.00	0.90	0.10	0.60	3.80	2.23
1954	7.00	5.00	7.20	8.30	0.90	0.00	0.00	0.00	7.00	1.90	0.00	4.80	3.51
1955	8.10	8.50	5.00	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	2.54
1956	7.10	7.00	4.20	6.40	0.00	0.00	0.00	0.00	5.70	2.20	2.40	5.70	3.39
1957	9.90	8.00	6.40	7.60	1.30	0.00	0.00	0.00	4.00	0.70	1.00	7.00	3.83
1958	7.00	6.00	4.00	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	2.40	0.00	4.00	2.26
1959	5.40	5.90	3.60	3.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	1.80
1960	7.00	9.00	6.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.70	1.40	2.49
1961	7.20	8.00	5.30	2.70	2.50	1.20	0.00	0.00	1.00	1.70	0.00	1.50	2.59
1962	8.00	8.00	8.90	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.70	0.40	3.60	2.86
1963	10.30	7.20	7.00	3.40	0.20	0.00	0.00	0.00	3.10	3.30	1.30	1.60	3.12
1964	5.50	7.30	7.00	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	2.06
1965	4.40	6.00	6.00	4.10	1.00	1.20	0.20	8.70	8.20	0.30	0.30	0.30	3.39
1966	6.00	3.50	5.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.00	1.00	0.90	0.30	1.60
1967	3.90	4.50	4.00	3.10	0.20	0.20	1.80	8.50	6.20	1.50	0.50	1.30	2.98
1968	5.50	5.90	4.40	2.90	2.90	1.70	2.50	5.30	4.60	0.50	0.70	3.20	3.34
1969	3.40	2.80	6.20	4.90	2.30	0.20	0.20	0.20	2.60	0.30	6.90	4.20	2.85
1970	4.40	5.00	5.40	7.00	3.60	4.10	3.00	1.20	2.60	4.20	2.70	1.50	3.73
1971	1.90	2.80	5.80	3.00	0.50	2.20	6.90	5.00	4.80	3.70	2.00	2.00	3.38
1972	2.90	1.50	1.00	0.70	0.70	5.60	5.90	4.90	3.30	3.40	1.70	1.50	2.76
1973	1.70	1.60	0.50	1.90	4.80	6.00	6.00	5.00	1.70	3.00	1.50	1.70	2.95
1974	3.30	0.40	0.00	0.00	0.00	1.10	3.80	6.80	6.30	2.30	1.80	0.00	2.15
1975	3.30	2.00	1.40	1.00	1.00	0.90	1.10	3.00	4.00	3.50	1.10	1.00	1.94
1976	2.14	2.08	5.83	4.10	2.44	3.20	10.88	7.41	6.51	2.76	1.48	4.87	4.48
1977	4.16	4.00	3.55	3.15	1.87	0.21	1.00	1.00	0.96	1.00	0.93	1.50	1.94
1978	1.50	1.10	4.31	4.68	3.21	0.00	0.81	2.71	3.00	2.90	2.82	2.00	2.42
1979	2.00	2.17	2.25	1.58	0.00	0.00	0.00	1.60	0.43	0.14	1.84	2.46	1.21

C A R - CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
DESCARGAS MEDIAS (m³/s)
ESTACIÓN: 2120744 REPRESA SISGA

Latitud	X=N=1053800	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	EMB. SISGA	Categoría	
Longitud	Y=E=1038900	Municipio	CHOCONTA	Cuenca	EMB. SISGA	Fecha Instalación	ene-52
Elevación	2670 m.s.n.m	Regional	ZIPAQUIRÁ			Fecha Suspensión	

ANO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
1980	0.00	5.64	6.50	1.85	0.00	0.00	1.75	2.46	1.34	0.94	0.00	1.26	1.81
1981	6.48	9.71	8.62	7.00	1.59	1.33	3.15	3.54	1.96	1.98	4.15	3.27	4.40
1982	1.84	2.00	1.02	0.00	0.00	1.14	0.57	0.66	3.37	4.82	2.91	3.91	1.85
1983	4.82	6.00	5.73	3.28	3.36	1.88	1.89	1.49	2.64	3.55	5.02	4.05	3.64
1984	2.94	3.21	2.94	0.81	0.00	0.28	1.12	0.22	0.39	2.81	1.98	4.60	1.78
1985	4.07	3.84	0.00	0.46	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42	0.71	0.00	0.99
1986	4.01	6.92	0.52	2.07	2.91	1.17	3.41	4.93	0.00	6.53	3.36	5.71	3.46
1987	10.00	7.24	4.11	3.48	0.83	0.07	0.56	0.18	2.88	0.24	1.97	6.38	3.16
1988	4.14	3.92	3.75	0.42	1.86	1.16	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29
1989	2.91	2.50	0.70	1.60	1.30	0.00	0.00	1.03	2.50	3.10	3.43	3.19	1.86
1990	1.94	1.91	0.74	1.40	0.00	0.21	1.10	0.62	3.87	1.64	1.70	1.56	1.39
1991	3.73	4.21	2.94	2.54	3.27	2.68	0.10	0.00	6.47	3.20	1.63	3.52	2.86
1992	3.43	4.74	7.19	3.37	1.36	2.00	0.72	1.08	1.86	1.79	1.47	1.07	2.51
1993	2.71	2.00	2.00	1.69	0.56	0.00	0.09	0.89	2.69	2.16	1.74	1.83	1.53
1994	2.61	3.20	3.23	2.88	1.12	1.15	0.37	1.33	2.82	3.06	1.40	2.12	2.11
1995	2.83	3.25	2.94	3.08	2.43	1.96	1.91	1.84	1.60	1.30	1.40	1.46	2.17
1996	1.50	1.21	1.07	1.15	0.85	0.70	0.17	0.25	0.98	0.76	1.33	0.95	0.91
1997	1.07	2.59	3.48	3.05	3.37	3.09	0.33	1.83	3.80	2.50	2.28	2.28	2.47
1998	2.00	2.00	3.50	2.50	2.00	1.00	0.00	2.00	3.50	2.50	3.00	3.00	2.25
1999	2.37	3.49	3.70	2.84	2.36	1.50	1.26	1.21	0.37	0.25	0.63	1.89	1.82
2000	1.49	1.78	2.69	2.32	1.78	1.16	1.03	0.33	0.45	1.96	1.97	1.26	1.52
2001	2.35	4.13	6.40	3.34	2.31	1.52	1.21	0.27	0.93	2.00	1.69	1.97	2.34
2002	2.68	2.88	2.71	2.25	2.11	1.03	6.94	6.70	3.06	2.67	2.56	2.27	3.16
2003	2.32	2.27	1.92	1.91	4.07	2.20	0.77	1.23	1.27	0.76	0.65	0.71	1.67
2004	2.00	2.00	1.52	1.75	2.02	2.02	3.93	3.85	1.78	1.92	1.42	0.94	2.09
2005	2.61	3.00	3.00	1.32	4.69	4.83	2.19	0.52	0.75	0.82	0.61	2.27	2.22
2006	2.19	2.43	2.37	3.83	2.48	3.80	1.55	2.00	1.77	1.13	1.50	1.50	2.21
2007	1.53	2.65	3.40	2.68	1.52	0.74	2.13	0.68		0.50	1.49	2.25	1.78
2008	2.53	1.86	1.38	1.76	1.80	0.88	0.76	3.23	1.75	0.70	0.70		1.58
2009	2.51	2.48	3.33	2.60	1.43	1.32	0.76	1.52	1.82	1.10	1.33	1.28	1.79
2010	1.38	1.00	1.00	2.26	2.71	0.09	1.13	2.07	3.04	1.16	0.08	1.20	1.43
2011	5.75	3.75	4.02	2.03	4.66	8.92	6.56	5.69	4.15	0.92	1.81	5.86	4.51
2012	3.69	4.00	3.72	1.70	4.22	5.45	4.40	5.61	4.17	2.74	1.87	2.00	3.63
2013	2.46	3.00	3.00	3.00	3.00	2.99	1.20	1.00	1.70	1.00	0.80	1.97	2.09
2014	3.00	2.80	2.21	1.56	0.26	0.30	1.19	5.55	7.10	3.36	1.53	1.19	2.50
2015	2.00	2.00	2.86	1.76	2.39	0.90	4.10	9.80	3.97	1.10	1.53	2.00	2.87

Fuente: CAR

Debido a lo anterior, para poder analizar el tramo de río simulando la condición anterior a la construcción del embalse del Sisga, con los datos de caudales medios mensuales de la estación La Iberia, se realizó la transposición de caudales al sitio de descarga del embalse.

Cuando no existen registros de caudal o se cuenta con poca información, es posible realizar la transposición de caudales de una hoja hidrográfica a otra, teniendo en

cuenta la similitud hidrológica de las dos hoyas. Para este caso, se contó con la hoya hidrográfica trazada hasta la estación La Iberia y la hoya hidrográfica trazada hasta el sitio de descarga del embalse del Sisga, como se presenta en la Figura 44.

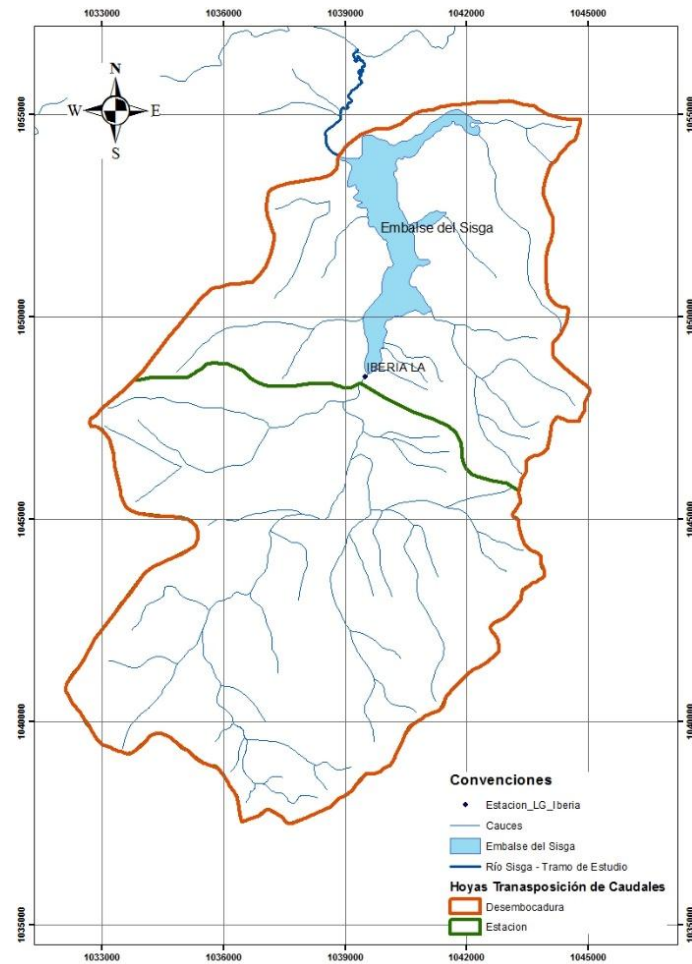


Figura 44 Hoyas hidrográficas usadas para la transposición de caudales medios.
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a Zuluaga, (2012) el coeficiente C con el cual se realiza la transposición de los caudales medios se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{A_1 * (P_1 - E_1)}{A_2 * (P_2 - E_2)}$$

Dónde:

A₁: área de drenaje de la cuenca de interés

A₂: área de drenaje de la cuenca de la cual se tiene información

P₁: precipitación media de la cuenca de interés

P₂: precipitación media de la cuenca de la cual se tiene información

E₁: evapotranspiración media de la cuenca de interés

E₂: evapotranspiración media de la cuenca de la cual se tiene información

Sin embargo, en el caso de no conocerse el valor de la evapotranspiración este valor puede obviarse o tomarse como cero.

Teniendo en cuenta un valor de área de 86182364.3 m² para la hoya hidrográfica de la estación y de 142791380.7 m² para la hoya de la descarga del embalse, además de los valores de precipitación media de 1013.67 mm y 1024.28 mm para la hoya hidrográfica de la estación y para la hoya de la descarga del embalse respectivamente, se obtiene un factor de transposición correspondiente a 1.67, el cual se le aplica a cada uno de los registros de la estación La Iberia, dando como resultados los valores de caudales medios mensuales en el sitio de descarga del embalse tal como se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Transposición de caudales medios mensuales de la estación La Iberia al sitio de descarga del embalse del Sisga

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.31	7.86	3.75	2.16	1.13	1.36	0.90
1994	0.41	0.27	0.35	0.47	2.55	4.68	7.16	3.86	3.33	3.42	1.37	0.84
1995	0.30	0.22	0.54	1.01	1.65	2.58	4.04	2.60	0.86	0.87	0.62	0.48
1996	0.28	0.73	1.61	1.00	3.94	4.84	6.95	5.42	1.34	1.73	0.46	0.60
1997	0.89	0.94	0.34	0.63	2.22	2.42	11.68	4.93	0.84	0.32	0.30	0.22
1998	0.11	0.09	0.04	0.41	3.29	7.34	8.27	3.57	0.88	1.14	1.60	2.35
1999	0.38	1.25	1.95	4.73	2.61	5.62	4.28	2.85	6.57	6.06	1.23	0.71
2000	0.44	0.35	0.61	0.59	3.32	7.25	5.20	6.62	4.90	2.74	3.01	0.83
2001	0.35	0.22	0.25	0.28	0.44	7.58	9.86	4.71	4.65	1.24	1.72	2.11
2002	0.13	0.29	0.61	2.41	5.18	6.75	6.47	8.58	1.54	1.07	0.94	0.33
2003	0.14	0.16	0.31	0.27	1.01	1.16	2.40	6.90	2.33	1.11	2.74	2.04
2004	0.55	0.23	0.43	2.06	5.92	10.82	5.14	6.04	2.69	2.37	1.62	0.54
2005	0.31	0.27	0.17	1.47	4.60	2.64	2.81	1.87	1.87	1.88	1.87	1.89
2006	0.29	0.20	0.80	3.31	6.31	6.60	5.94	2.78	1.64	3.86	3.07	0.91
2007	0.28	0.17	0.22	1.12	1.81	4.83	3.21	2.94	2.01	2.86	1.75	0.61

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2008	0.55	0.33	0.34	0.68	3.07	5.42	5.65	3.51	1.79	2.16	4.32	1.35
2009	0.78	0.51	0.54	0.86	1.59	2.10	5.14	4.26	2.04	1.57	0.82	0.18
2010	0.14	0.16	0.17	1.45	3.29	3.91	4.69	2.26	1.46	2.38	3.38	1.89
2011	0.53	0.46	2.86	9.92	7.86	5.87	3.42	2.25	2.61	5.49	6.46	2.89
2012	0.58	0.40	1.05	6.98	3.83	3.59	9.52	4.76	2.78	2.57	1.18	0.51
2013	0.12	0.06	0.33	0.71	5.51	2.79	4.41	4.29	2.19	1.47	2.76	1.39
2014	0.18	0.05	0.38	0.81	1.52	7.72	8.49	3.86	3.65	1.62	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia

Para los datos presentados en la Tabla 11 y en la Tabla 12, se generaron los histogramas de caudales medios los cuales ver Figura 45 y Figura 46.

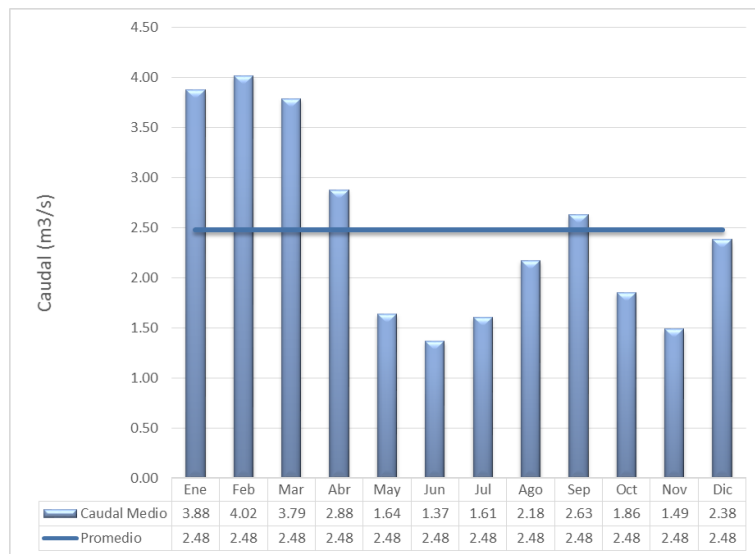


Figura 45. Histograma de caudales medios mensuales para la estación Embalse del Sisga (Cod: 2120744).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 45 se observa que, el promedio del caudal medio mensual que descarga el embalse del Sisga es de 2.48 m³/s. Por otro lado, el mes en el cual se presenta mayor caudal en el tramo del río el cual es objeto de estudio es el de febrero con un valor de 4.02 m³/s, mientras que el mes que presenta menor caudal es el de junio con un caudal de 1.37 m³/s.

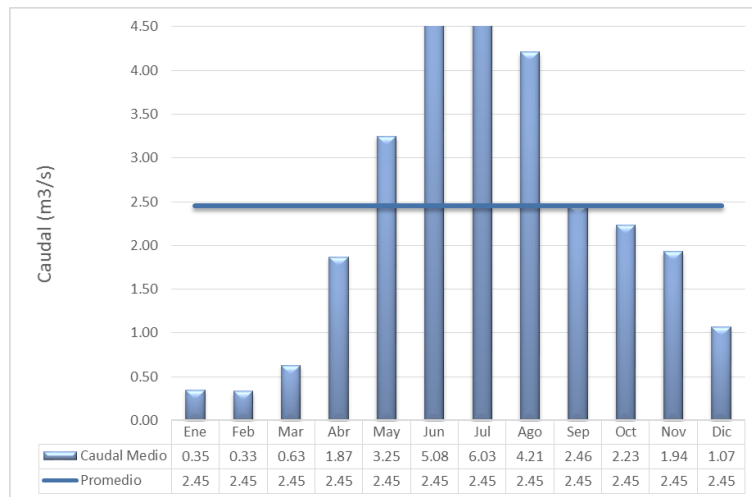


Figura 46. Histograma de caudales medios mensuales para la estación La Iberia transpuestos al sitio de descarga del embalse del Sisga (Cod: 2120870).
Fuente: Elaboración propia

Para la estación La Iberia como se muestra en la figura 46, el promedio del caudal medio mensual de la estación es de 2.45 m³/s. Así mismo, el mes en el cual se presenta mayor caudal en el tramo del río el cual es objeto de estudio es el de julio con un valor de 6.03 m³/s, mientras que el mes que presenta menor caudal es el de febrero con un caudal de 0.33 m³/s.

6.7 Cálculo de Caudales Ambientales

Con el fin de evaluar cuáles son los valores de caudal ambiental óptimos en la zona de estudio mediante el uso del programa computacional PHABSIM y teniendo en cuenta los valores de caudales medios en el sitio de descarga del embalse del Sisga (antes y después de proyecto), se calcularon los caudales ambientales para el tramo del río Sisga analizado en el sitio para la condición antes de proyecto. Para realizar este cálculo, se usaron dos metodologías: la metodología del IDEAM (2004) y la metodología del Estudio Nacional del Agua, ENA (2014).

Por otro lado, con el fin de evaluar posibles caudales óptimos en la zona de estudio, se realizó una variación de los porcentajes de los caudales medios mensuales para

la condición antes y después de proyecto, de esta manera, se obtienen los valores de caudales ambientales óptimos identificando bajo comparación, la condición más favorable para la especie Chironomidae.

Finalmente, cabe mencionar que, en varios textos el cálculo del caudal ambiental, se realiza teniendo en cuenta los valores de Q90 y Q95 (valores del 90 y 95% de la curva de duración de caudales), metodología que se tuvo en cuenta para el presente estudio.

6.7.1 Metodología IDEAM.

El IDEAM por medio de la Resolución 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, “Por el cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales”, propone que el cálculo del caudal ambiental sea adoptado como “un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio”¹².

Para la estación La Iberia, la cual representa la condición antes de proyecto, y de acuerdo a los caudales medios presentados en la Tabla 12, se observa que el valor promedio más bajo es 0.33 m³/s el cual corresponde al caudal medio mensual multianual más bajo del mes de junio. Aplicando el porcentaje de reducción del 25% al valor anterior, se obtiene que el caudal ambiental en el sitio de estudio por medio de la metodología del IDEAM es de 0.08 m³/s.

Para la estación Represa Sisga, la cual representa la condición después de proyecto, y de acuerdo a los caudales medios presentados en la Tabla 11, se observa que, el valor promedio más bajo es 1.37 m³/s el cual corresponde al caudal medio mensual multianual del mes de junio. Aplicando el porcentaje de reducción

¹² Porcentaje de descuento: metodología adoptada por el IDEAM para la definición del caudal ambiental de acuerdo a la Resolución 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

del 25% al valor anterior, se obtiene que el caudal ambiental en el sitio de estudio por medio de la metodología del IDEAM es de 0.34 m³/s.

6.7.2 Estudio Nacional del Agua 2014, ENA.

El ENA es un documento elaborado por el IDEAM con el fin de dar a conocer el estado y la dinámica de las fuentes de agua y los recursos hídricos del país, teniendo en cuenta diferentes fuentes de información y el conocimiento de expertos y académicos que de manera interdisciplinaria trabajaron para la construcción del documento. En términos generales,

El ENA 2014 no solo recoge, integra y analiza el estado del arte sobre la información y conocimiento de la hidrología y la hidrogeología nacional respondiendo a preguntas de investigación sobre lo que se debe conocer del agua a nivel nacional, sino que además plantea retos y abre nuevas fronteras de investigación que deben ser atendidas por la institucionalidad y los centros de pensamiento e investigación del país” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2015).

Para calcular los caudales ambientales por medio de este estudio, se tiene en cuenta el Índice de Regulación Hídrica, IRH, el cual se obtiene a partir de la Curva de Duración de Caudales, CDC. En la Figura 47, se presenta el procedimiento a seguir para la obtención del índice de regulación hídrica y del caudal ambiental según el ENA.

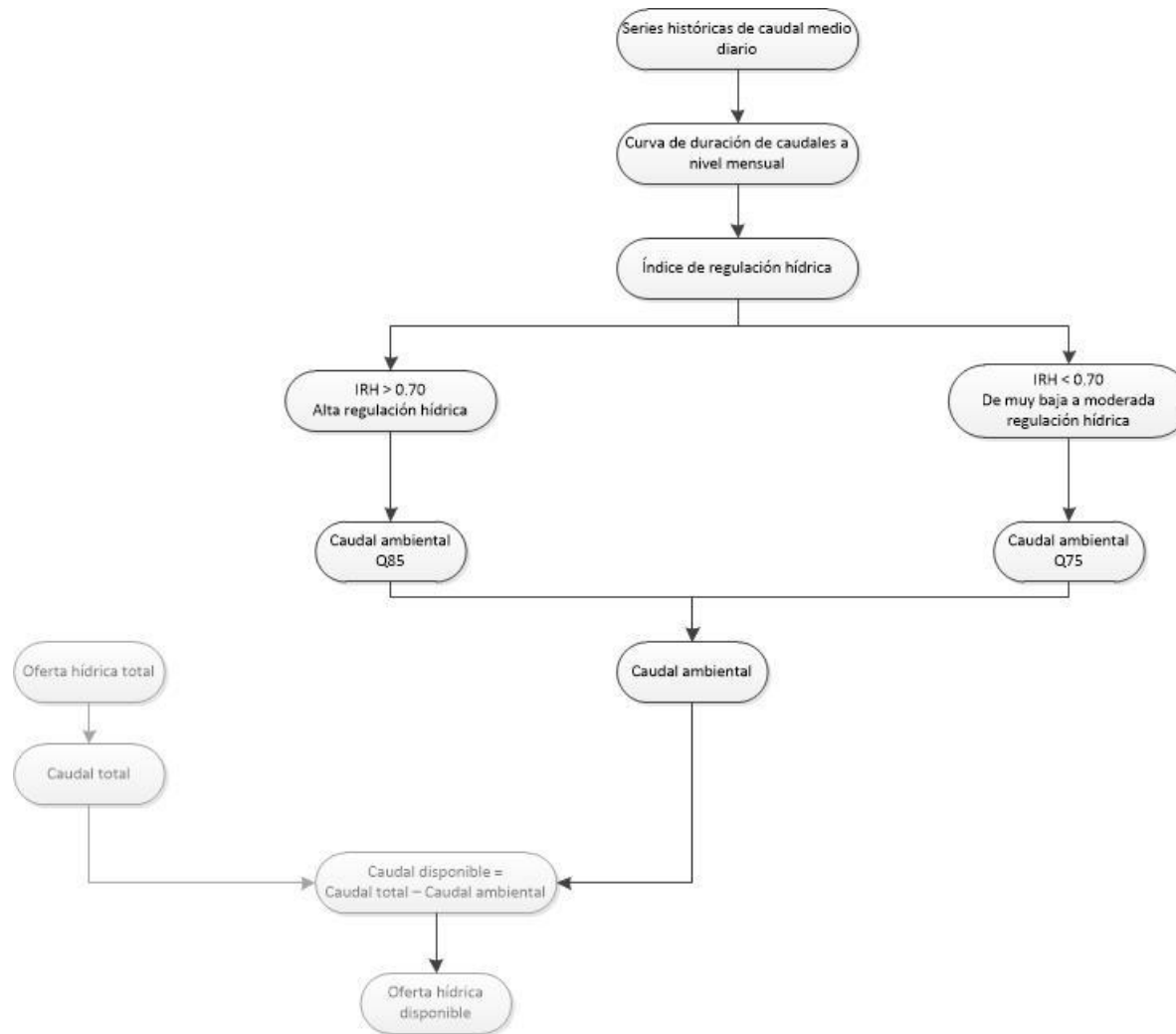


Figura 47. Diagrama de flujo para la determinación de la oferta hídrica superficial.
Fuente: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2015)

6.7.2.1 Curva de Duración de Caudales, CDC.

La Curva de Duración de Caudales (CDC) o curva de permanencia de caudales es “la representación gráfica en orden decreciente de los caudales observados, duración normalmente expresada en porcentaje” (Monsalve, 2006). La curva, puede ser definida para caudales diarios, mensuales y anuales. Para llevar a cabo el análisis de la zona de estudio, se tomaron los datos de los caudales mensuales de las estaciones Represa Sisga y La Iberia presentados en la Tabla 11 y en la Tabla 12.

Este es un método que representa de buena manera la variabilidad de los caudales a lo largo del año. Según Consuegra, (2013),

A partir de esta curva se puede conocer la duración del período en el que el río suministra unos caudales mínimos o máximos; por ejemplo, por medio de la curva se puede saber qué porcentaje del año el río lleva unos caudales por encima de un valor determinado, o cuántos días del año desciende por debajo de un determinado caudal.

La construcción de esta curva se da por medio de los valores de caudal en el eje de las ordenadas y los valores de la frecuencia acumulada relativa correspondiente en el eje de las abscisas.

De esta manera, para los datos de la estación La Iberia en la zona de estudio (descarga del embalse del Sisga) se calculó la CDC la cual se puede observar en la Figura 48, esta curva fue construida con base en los datos presentados en la Tabla 13.

Tabla 13. Curva de duración de caudales – estación La Iberia

FRECUENCIA ACUMULADA F_i (%)	CAUDALES Q_i (m^3/s)
0.38	11.68
1.00	10.82
2.00	9.52
5.00	7.34
10.00	6.06
20.00	4.60
30.00	3.07
40.00	2.38
50.00	1.72

FRECUENCIA ACUMULADA Fi (%)	CAUDALES Qi (m³/s)
60.00	1.13
70.00	0.71
75.00	0.54
80.00	0.40
85.00	0.31
90.00	0.22
95.00	0.14
100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

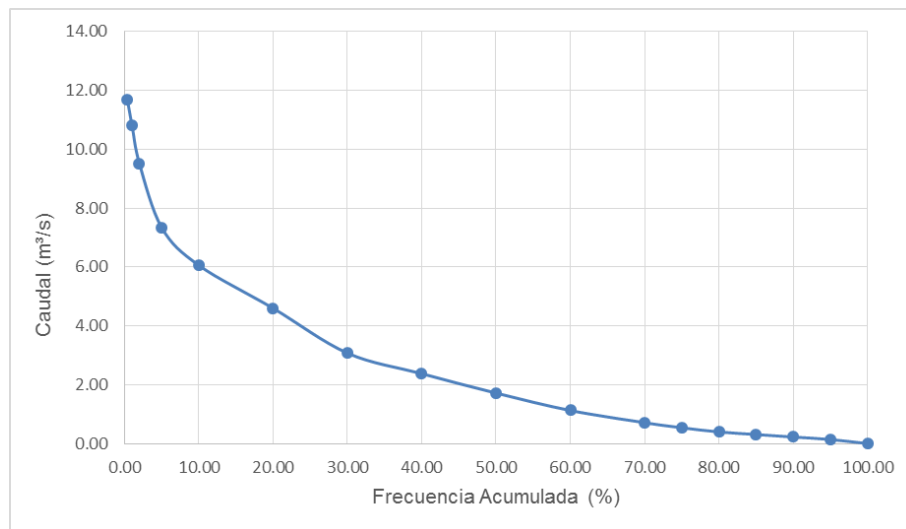


Figura 48. Curva de duración de caudales – estación La Iberia.

Fuente: Elaboración propia

Mientras que para los datos de la estación Represa Sisga en la zona de estudio se calculó la CDC la cual se puede observar en la Figura 49 y fue construida con base en los datos presentados en la Tabla 14.

Tabla 14. Curva de duración de caudales – estación Represa Sisga

Frecuencia acumulada Fi (%)	Caudales Qi (m³/s)
0.13	10.88
1.00	9.00
2.00	8.20
5.00	7.00
10.00	5.86
20.00	4.00
30.00	3.10
40.00	2.50
50.00	1.98
60.00	1.52

Frecuencia acumulada Fi (%)	Caudales Qi (m³/s)
70.00	1.10
75.00	0.90
80.00	0.60
85.00	0.25
90.00	0.00
95.00	0.00
100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

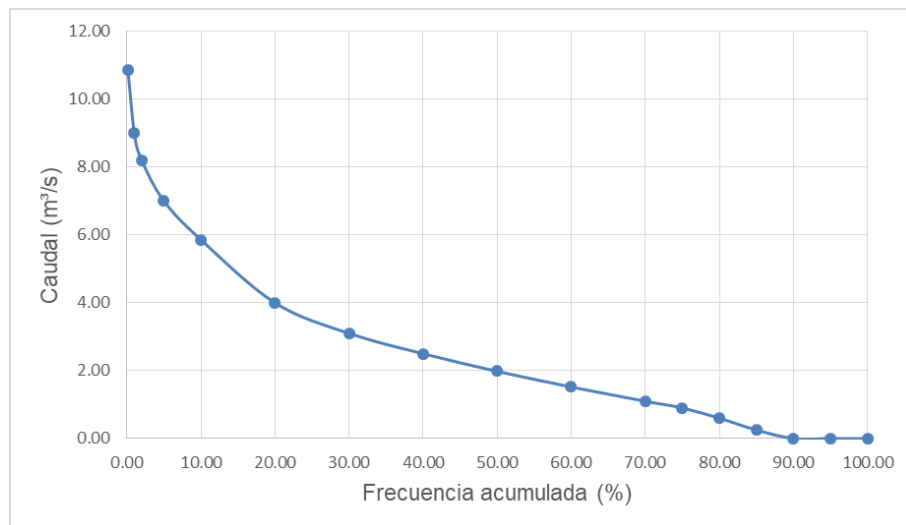


Figura 49. Curva de duración de caudales – estación Represa Sisga.
Fuente: Elaboración propia

6.7.2.2 Índice de Regulación Hídrica, IRH.

Según Ocampo, (2012), este índice mide la capacidad de una cuenca para mantener un régimen de caudales y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IRH = \frac{VP}{V_t}$$

Dónde:

- VP: volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio.

- V_t : volumen total representado por el área bajo la curva.

Teniendo en cuenta la curva de duración de caudales y la ecuación anterior, para la estación Represa Sisga se tiene un valor de VP igual a 163.45 y un valor de V_t igual a 249.25 para finalmente obtener un IRH de 0.66. De acuerdo a lo establecido en la Figura 47, el valor de IRH de 0.66 es menor a 0.70 (de muy baja a moderada regulación hídrica), por lo tanto, el caudal ambiental corresponde a Q75 equivalente a 0.90 m³/s.

Por otro lado, para la estación La Iberia, se tiene un valor de VP igual a 150.80 y un valor de V_t igual a 248.48 para finalmente obtener un IRH de 0.61. De acuerdo a lo establecido en la Figura 47, el valor de IRH de 0.61 es menor a 0.70 (de muy baja a moderada regulación hídrica), por lo tanto el caudal ambiental corresponde a Q75 equivalente a 0.54 m³/s.

6.7.3 Variación de los porcentajes de los caudales medios diarios del punto de descarga del embalse.

Para llevar a cabo el análisis de caudales óptimos mediante la metodología PHABSIM y determinar si las condiciones después de proyecto son favorables para el hábitat de la especie en estudio, se realizó una variación de los porcentajes de los caudales medios mensuales del punto de descarga del embalse presentados en la Tabla 11 y de la Tabla 12 desde el 5% y hasta el 40%, dando como resultado los valores presentados en la Tabla 15 y Tabla 16. La variación porcentual de todos los valores se realiza con el fin de obtener un caudal mínimo para cada mes, lo cual no es tenido en cuenta en las metodologías anteriores.

Tabla 15. Cálculo de caudales ambientales con la variación porcentual de los valores medios mensuales a nivel multianual para la estación Represa Sisga

MES	CAUDAL MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m ³ /s)	CAUDAL MENSUAL (m ³ /s)							
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Enero	3.88	0.19	0.39	0.58	0.78	0.97	1.16	1.36	1.55
Febrero	4.02	0.20	0.40	0.60	0.80	1.01	1.21	1.41	1.61
Marzo	3.79	0.19	0.38	0.57	0.76	0.95	1.14	1.33	1.52
Abril	2.88	0.14	0.29	0.43	0.58	0.72	0.86	1.01	1.15

MES	CAUDAL MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m³/s)	CAUDAL MENSUAL (m³/s)							
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Mayo	1.64	0.08	0.16	0.25	0.33	0.41	0.49	0.57	0.66
Junio	1.37	0.07	0.14	0.21	0.27	0.34	0.41	0.48	0.55
Julio	1.61	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64
Agosto	2.18	0.11	0.22	0.33	0.44	0.55	0.65	0.76	0.87
Septiembre	2.63	0.13	0.26	0.39	0.53	0.66	0.79	0.92	1.05
Octubre	1.86	0.09	0.19	0.28	0.37	0.47	0.56	0.65	0.74
Noviembre	1.49	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37	0.45	0.52	0.60
Diciembre	2.38	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Cálculo de caudales ambientales con la variación porcentual de los valores medios mensuales a nivel multianual para la estación La Iberia

MES	CAUDAL MEDIO MENSUAL MULTIANUAL (m³/s)	CAUDAL MENSUAL (m³/s)							
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Enero	0.35	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14
Febrero	0.33	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13
Marzo	0.63	0.03	0.06	0.09	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25
Abril	1.87	0.09	0.19	0.28	0.37	0.47	0.56	0.65	0.75
Mayo	3.25	0.16	0.33	0.49	0.65	0.81	0.98	1.14	1.30
Junio	5.08	0.25	0.51	0.76	1.02	1.27	1.52	1.78	2.03
Julio	6.03	0.30	0.60	0.90	1.21	1.51	1.81	2.11	2.41
Agosto	4.21	0.21	0.42	0.63	0.84	1.05	1.26	1.47	1.68
Septiembre	2.46	0.12	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74	0.86	0.98
Octubre	2.23	0.11	0.22	0.33	0.45	0.56	0.67	0.78	0.89
Noviembre	1.94	0.10	0.19	0.29	0.39	0.48	0.58	0.68	0.77
Diciembre	1.07	0.05	0.11	0.16	0.21	0.27	0.32	0.37	0.43

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, y teniendo en cuenta los caudales de las dos tablas anteriores, para realizar la modelación en PHABSIM se tomaron únicamente los valores de los dos meses con los caudales más bajos para los porcentajes de 20%, 30%, 35% y 40%, de esta manera, para la estación Represa Sisga, los caudales seleccionados son 0.27 m³/s, 0.41 m³/s, 0.48 m³/s y 0.55 m³/s para el mes de junio y 0.30 m³/s, 0.45 m³/s, 0.52 m³/s y 0.60 m³/s para el mes de noviembre y los valores seleccionados para la estación La Iberia son 0.07 m³/s, 0.11 m³/s, 0.12 m³/s y 0.14 m³/s para el mes de enero y 0.07 m³/s, 0.10 m³/s, 0.12 m³/s y 0.14 m³/s para el mes de febrero.

6.7.4 Metodología de Q90 y Q95.

Como se ha mencionado, en varios textos el cálculo del caudal ambiental se realiza teniendo en cuenta los valores de Q90 y Q95 (valores del 90% y 95% de la curva de duración de caudales).

Con base en la curva de duración de caudales descrita en el Numeral 6.7.2, se tiene que, para la estación Represa Sisga los caudales correspondientes al 90% y 95% llegan a un valor de cero debido a los datos registrados por la estación, mientras que, para la estación La Iberia, se tiene valores de 0.22 m³/s y 0.14 m³/ para el 90% y 95% respectivamente.

6.8 Topografía de la Zona de Estudio

Para obtener las características del tramo del río Sisga en estudio y realizar la modelación en el programa computacional PHABSIM, se tuvo en cuenta la información suministrada por la CAR, referente a la topografía de la zona y a las secciones transversales a lo largo de la longitud del río, estudiado en total 69 secciones transversales. En la Figura 50 se presenta la topografía de la zona en estudio y la vista en planta de las 69 secciones transversales del tramo de estudio del río Sisga.

Por otro lado, y de manera más específica, en la Figura 51 se presentan algunas secciones transversales, mientras que en el Anexo 2 se presentan todas las secciones transversales modeladas dentro del programa computacional PHABSIM. Finalmente, en la Figura 52, se presenta la topografía de una zona del tramo en estudio.

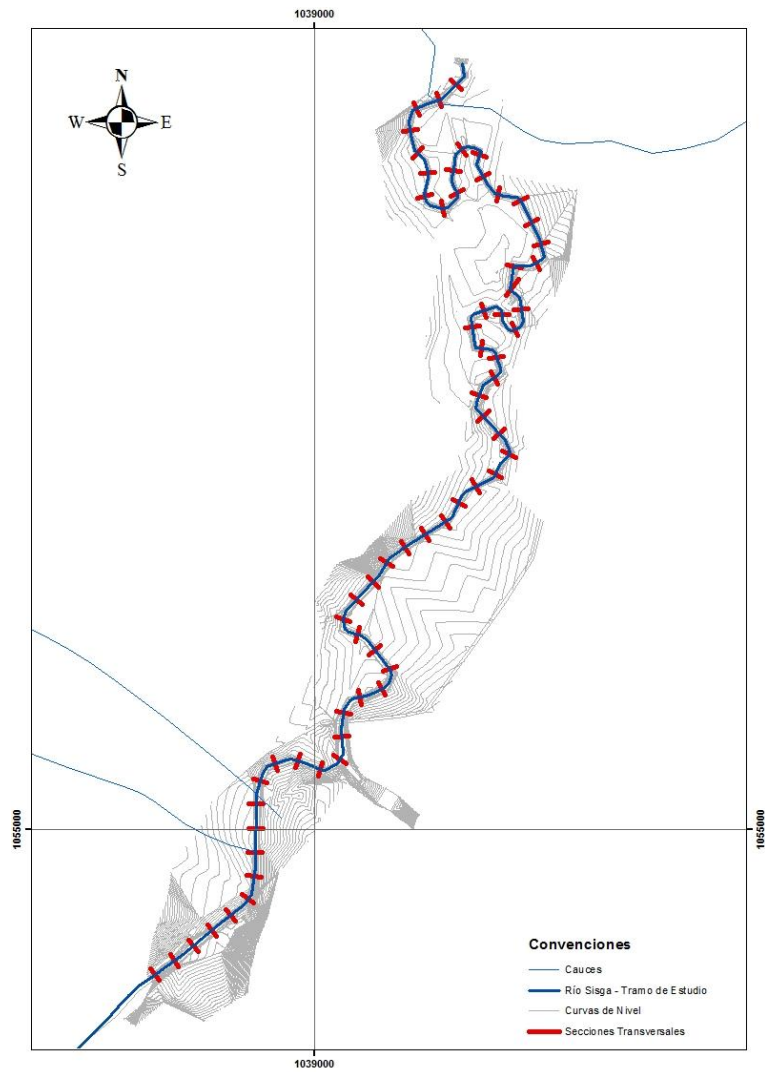


Figura 50. Topografía de la zona y vista en planta de las secciones transversales del tramo de estudio del río Sisga.
 Fuente: Elaboración propia

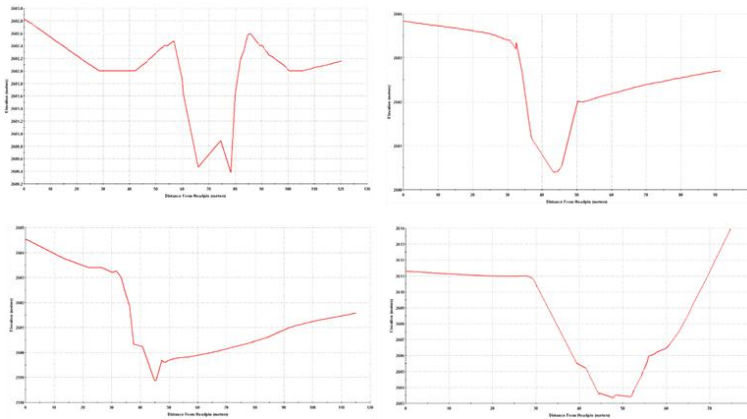


Figura 51. Secciones transversales del tramo del río Sisga analizado.
Fuente: Elaboración propia – Modelación en el programa computacional PHABSIM

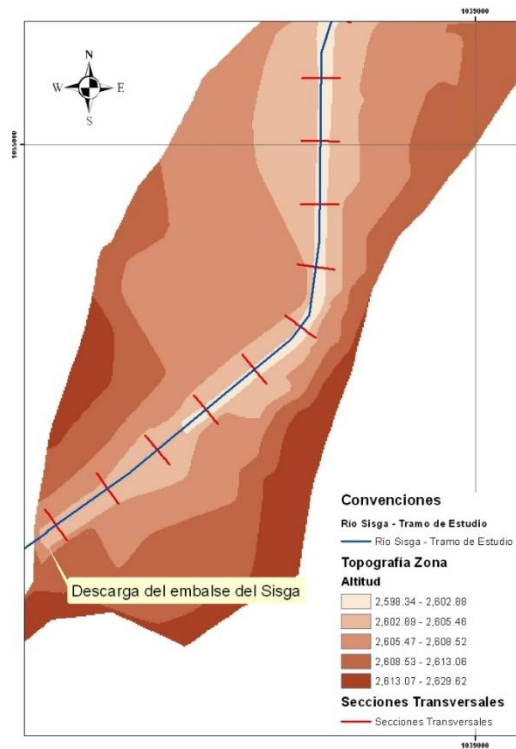


Figura 52 Topografía de la zona de la descarga del embalse del Sisga.
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 7. Caso de Estudio, Aplicación de la Metodología IFIM

La metodología IFIM se desarrolla por medio de una serie de etapas ya explicadas en el documento y se aplican al caso de estudio como se presenta a continuación.

7.1 Identificación y Diagnóstico del Problema

El cálculo del caudal ambiental se realiza con el fin de determinar un caudal mínimo que se debe dejar en el río cuando se vayan a llevar a cabo proyectos de captación de agua, hidroeléctricas, entre otros. Debido a que el caso de estudio es el tramo del río Sisga, ubicado entre la descarga del embalse del Sisga y la desembocadura al río Bogotá, se estudió y se analizó el caudal ambiental que se debe dejar en el tramo de río, teniendo en cuenta que en la zona opera el embalse del Sisga el cual es el encargado de suministrar agua potable a gran parte de la ciudad de Bogotá.

Las partes e instituciones involucradas fueron:

- Corporación Autónoma Regional CAR: Facilitó la información necesaria para llevar a cabo el presente trabajo, relacionada con información de caudales, temperatura y precipitaciones de la zona, topografía y secciones transversales del tramo del río de estudio e información de la calidad del agua de la zona.
- Empresa de Acueducto, Agua, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAAB): Entidad que administra el embalse del Sisga.
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (ECI): el presente trabajo es dirigido por medio de la ECI con el fin de obtener el título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Ingeniería Ambiental.

Por otro lado, la definición física del ecosistema objeto de estudio, se llevó a cabo en el Capítulo VI en donde se presenta la ubicación georreferenciada de la zona de estudio, así como las características físicas y climatológicas de la misma.

7.2 Planificación del Estudio

Con el fin de llevar a cabo un trabajo de forma organizada durante un tiempo óptimo y obtener resultados aceptables para cada una de las partes interesadas, se tuvo en cuenta la recolección de la información pertinente para realizar la descripción de la zona y los cálculos requeridos para la modelación, teniendo en cuenta los objetivos del estudio los cuales fueron presentados en el capítulo correspondiente.

La recolección de la información se realizó de dos formas:

- Por medio de la solicitud de información a la CAR, la cual suministró la información de caudales, temperatura y precipitaciones de la zona, topografía y secciones transversales del tramo del río de estudio e información de la calidad del agua de la zona.
- Búsqueda en libros y medios magnéticos: se realizó la búsqueda de la información de la metodología IFIM, así como la información biótica a través de medios magnéticos los cuales proporcionaron trabajos de tesis de años anteriores con casos de estudio diferentes e informes realizados por diferentes universidades, sirviendo como base para llevar a cabo el presente trabajo. Además, se realizó la búsqueda de la información biótica a través de libros relacionados con el tema.

Finalmente, al responder las preguntas quién, cuándo, dónde, cómo y cuánto, se obtuvo un panorama más claro del objetivo a desarrollar en el presente trabajo:

- ¿Quién?: la CAR, suministró la información secundaria para llevar a cabo las modelaciones, y La EAAB como administrador de la represa, garantiza que las descargas del embalse del Sisga cumplan con el caudal ambiental definido.
- ¿Cuándo?: el trabajo es desarrollado a lo largo del periodo académico 2016 – 2017, con información registrada hasta el año 2015.
- ¿Dónde?: el estudio se aplica al tramo del río Sisga comprendido entre la descarga del embalse del Sisga y la desembocadura del río Sisga en el río

Bogotá con una longitud de tramo de aproximadamente 3.2 km. Este tramo de río se ubica en el departamento de Cundinamarca en el municipio de Chocontá al nororiente de la Sabana de Bogotá.

- ¿Cómo?: este trabajo se planificó de tal manera que, en primer lugar, se llevó a cabo la recolección de información secundaria y el análisis de la misma, luego se realizó la modelación de los caudales usando el programa computacional PHABSIM y finalmente se analizaron los resultados arrojados por las modelaciones con el fin de tomar las decisiones adecuadas.
- ¿Cuánto?: se estimó un total de \$19.976.000 los cuales se discriminan en valor del tiempo trabajado por parte del director del proyecto y del alumno autor del mismo, costos de papelería, transporte, entre otros.

7.3 Implementación del Estudio

Se realizó la recopilación y el análisis de la información secundaria la cual se ha llevado a cabo a lo largo del desarrollo del trabajo. Asimismo, cabe mencionar que debido a que el trabajo tiene fines de profundización y no de investigación, no se llevó a cabo la recolección de información en campo, sino que se trabajó con la información secundaria disponible.

Con la información secundaria recolectada, se llevó a cabo el desarrollo y análisis de la metodología IFIM el cual tiene como apoyo para la modelación el programa computacional PHABSIM.

7.4 Análisis de Alternativas y Resolución del Problema

En el Capítulo V se llevó el análisis de la calidad del agua de la zona de estudio, teniendo en cuenta la información suministrada por la CAR de 3 puntos de muestreo durante el periodo 2013 a 2016.

Por otro lado, en el Capítulo VI se realizó el análisis hidrológico de la zona de estudio, teniendo en cuenta la información y análisis de la precipitación y temperatura de la zona. Así mismo, se contó con los valores de caudales medios mensuales del sitio donde el embalse del Sisga realiza las descargas,

Finalmente, se analizaron varias alternativas de caudales ambientales calculados por medio de: la metodología del IDEAM, una variación de los porcentajes de los caudales medios mensuales y la metodología del Estudio Nacional del Agua, ENA 2014. Todas las metodologías se aplicaron teniendo en cuenta los caudales medidos por la CAR en la estación La Iberia ubicada aguas arriba del embalse del Sisga y la estación Represa Sisga ubicada justo en el punto de descarga del embalse. En los siguientes capítulos se desarrollaron de manera más específica esta etapa de la metodología IFIM.

Capítulo 8. Modelación en PHABSIM

PHABSIM, es un programa computacional usado por la metodología IFIM, con el fin de traducir los cambios de un flujo dependiente de componentes físicos a un valor estimativo de la calidad y la cantidad de microhábitat para los organismos que habitan la zona. Asimismo, su aplicabilidad se divide en 7 etapas las cuales se presentan a continuación aplicadas al caso de estudio.

8.1 Alcances

El objetivo principal del presente estudio fue Evaluar la aplicabilidad de la metodología IFIM en el cálculo de los caudales ambientales para ríos de montaña haciendo uso de las curvas de preferencia del Macroinvertebrado Chironomidae, el cual es el alimento base del *Eremophilus mutisii*, una de las especies más comunes en el río Sisga.

El estudio es realizado en un tramo del río Sisga que va desde la descarga del embalse del Sisga hasta la desembocadura del río Sisga en el río Bogotá. Este tramo cuenta con una longitud aproximada de 3.2 km y una pendiente ponderada de 0.038 m/m.

La especie evaluada fue el macroinvertebrado Chironomidae el cual, es el alimento base del *Eremophilus mutisii* o pez capitán, una de las especies más comunes en el río Sisga.

Finalmente, para realizar el análisis del tramo del río Sisga en estudio usando PHABSIM, se contó con 69 secciones transversales (información suministrada por la CAR), las cuales se presentan en la Figura 50, 3 curvas de preferencia (velocidad, profundidad y sustrato) para el macroinvertebrado Chironomidae las cuales fueron extraídas de Cardona, (2012), y los caudales ambientales de la zona calculados en el Numeral 6.7.

8.2 Selección de la Especie a Estudiar y sus Curvas de Preferencia

El macroinvertebrado Chironomidae fue seleccionado teniendo en cuenta que para poder realizar la modelación en PHABSIM es indispensable contar con la información de las curvas de preferencia de la especie a analizar y como en Colombia este tipo de información es escaso, se tomaron las curvas de preferencia del único trabajo conocido en Colombia en donde se documenta la aplicabilidad de la metodología IFIM y la obtención de información biológica de esta especie (curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae). La selección se realizó teniendo en cuenta el principio de que los macroinvertebrados son menos móviles, más sensibles a cambios en el caudal o a caudales bajos y tiene rangos de tolerancia más bajos que los peces (Cardona, 2012), con lo cual, se puede reafirmar que el análisis de los caudales ambientales por medio de la metodología IFIM en el río Sisga es válido usando las curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae.

8.3 Selección del Sector de Estudio y Caracterización del Hábitat

Para la selección de la zona de estudio se tuvo en cuenta que el río Sisga es un río de montaña, lo cual hace parte del objetivo principal del presente trabajo. Por otro lado, el tramo seleccionado es sensible a los cambios, ya que los caudales de esta zona del río se encuentran regulados por las descargas del embalse, lo que implica que este cauce presenta la intervención de un proyecto, haciendo que se puedan presentar posibles cambios en el hábitat o ecosistema de las especies pertenecientes al río Sisga.

8.4 Selección de las Secciones Transversales y Recolección de Datos del Terreno

La modelación en PHABSIM fue llevada a cabo teniendo en cuenta 69 secciones transversales como se presenta en la Figura 50. Además, cabe mencionar que, debido a que el trabajo tuvo fines de profundización y no de investigación, no se llevó a cabo la recolección de información en campo (como velocidades o tipo de material de fondo), sino que se trabajó con la información secundaria disponible.

8.5 Modelación Hidráulica

La modelación hidráulica se compone de dos fases: el cálculo del nivel de agua en una determinada sección y el cálculo de la velocidad en la misma sección transversal. Para llevar a cabo la modelación de la lámina de agua, se realizaron modelaciones usando las metodologías MANSQ Y STGQ para todas las secciones, las cuales son las metodologías más usadas en PHABSIM. La metodología WSP no se tuvo en cuenta debido a que está desarrollada con una mayor base teórica por lo cual se requiere una mayor dedicación y mayor conocimiento del sistema y de la teoría correspondiente.

Por otro lado, para llevar a cabo la modelación de las velocidades se usó el único método de simulación, VELSIM.

Cabe mencionar que, PHABSIM requiere inicialmente de unos datos de calibración de caudal, lámina de agua y de velocidad, pero debido a que no se realizaron mediciones en campo, se adoptaron unos valores de “calibración” o valores iniciales tales como:

- Caudal: los valores iniciales de caudal adoptados son 0.05, 0.32 y 1.00 m³/s.
- Lámina de agua y velocidad: estos valores fueron obtenidos de una modelación hidráulica realizada con el programa computacional HEC-RAS usando la misma topografía de la zona. Para realizar la modelación del

tramo de río estudiado en HEC-RAS, se tuvo en cuenta las siguientes condiciones de frontera: aguas arriba se asumió la pendiente crítica y aguas abajo se asumió el valor de la pendiente del tramo la cual es igual a 0.038 m/m, de esta manera, se modeló el tramo de río en flujo mixto. En el Anexo 2 se presenta el modelo hidráulico realizado en HEC-RAS.

8.6 Modelación del Hábitat

En cuanto a la modelación de hábitat, solo se tuvo en cuenta la metodología HABTAE, ya que HABTAM simula la condición en la cual las especies simuladas pueden migrar de forma lateral dentro de una sección transversal con el fin de poder usar el WUA cuando se presentan cambios de caudal y HABEF calcula el hábitat considerando las condiciones en dos corrientes y/o en dos etapas de vida o especies, por lo que no corresponde al objeto del presente estudio.

8.7 Interpretación de Resultados

Después de llevar a cabo la modelación, se obtienen los resultados del hábitat disponible para el macroinvertebrado Chironomidae en el tramo de río estudiado. Estos resultados se presentan de manera específica en el Capítulo específico para tal fin.

Cabe mencionar que, debido a que PHABSIM fue desarrollado alrededor del año 1989, su capacidad de procesamiento es bajo, por tal razón, para poder generar las gráficas de resultados de la modelación, las 69 secciones se distribuyeron en 10 modelaciones (10 archivos diferentes), compuestas por 7 u 8 secciones transversales.

En el Anexo 3 se presenta un manual de usuario del programa PHABSIM con el fin de facilitar su entendimiento y el uso del mismo. Este anexo se realizó teniendo en cuenta el

manual de usuario del software PHABSIM escrito por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS (2001).

Capítulo 9. Análisis de Resultados

En el presente Capítulo se presentan los resultados de las modelaciones realizadas mediante el uso del programa PHABSIM. Se debe tener en cuenta que, debido a la baja capacidad de procesamiento del programa, el tramo de río analizado no se modeló en un solo archivo, sino que fue necesaria la división de las 69 secciones transversales en 10 tramos de río lo cual implicó la existencia de 10 modelos diferentes. En la Tabla 17 se presentan las secciones que componen cada uno de los modelos establecidos. teniendo en cuenta que, en PHABSIM la modelación se realiza desde aguas abajo (desembocadura del río Sisga en el río Bogotá (K0+000)) hacia aguas arriba (descarga del embalse del Sisga (K3+254)). En el Anexo 4 se presentan los modelos realizados.

Tabla 17. Modelaciones realizadas en PHABSIM

MODELO No.	No. DE SECCIONES	ABSCISA DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES
1	8	k0+000, k0+028, k0+103, k0+166, k0+204, k0+236, k0+251, k0+281
2	8	k0+310, k0+355, k0+374, k0+416, k0+456, k0+496, k0+550, k0+581
3	7	k0+608, k0+638, k0+680, k0+710, k0+764, k0+862, k0+901
4	7	k0+933, k0+971, k1+018, k1+043, k1+047, k1+104, k1+131
5	7	k1+155, k1+177, k1+196, k1+255, k1+277, k1+315, k1+357
6	9	k1+409, k1+459, k1+509, k1+548, k1+588, k1+627, k1+668, k1+687, k1+755
7	5	k1+824, k1+901, k1+970, k2+022, k2+120
8	7	k2+153, k2+202, k2+298, k2+329, k2+369, k2+405, k2+453
9	7	k2+545, k2+581, k2+650, k2+707, k2+748, k2+870, k2+962
10	4	k2+998, k3+094, k3+192, k3+254

Fuente: Elaboración propia

La Figura 53, muestra el perfil del río dividido en las 10 zonas de cada uno de los modelos realizados, teniendo en cuenta la información topográfica entregada por la CAR.

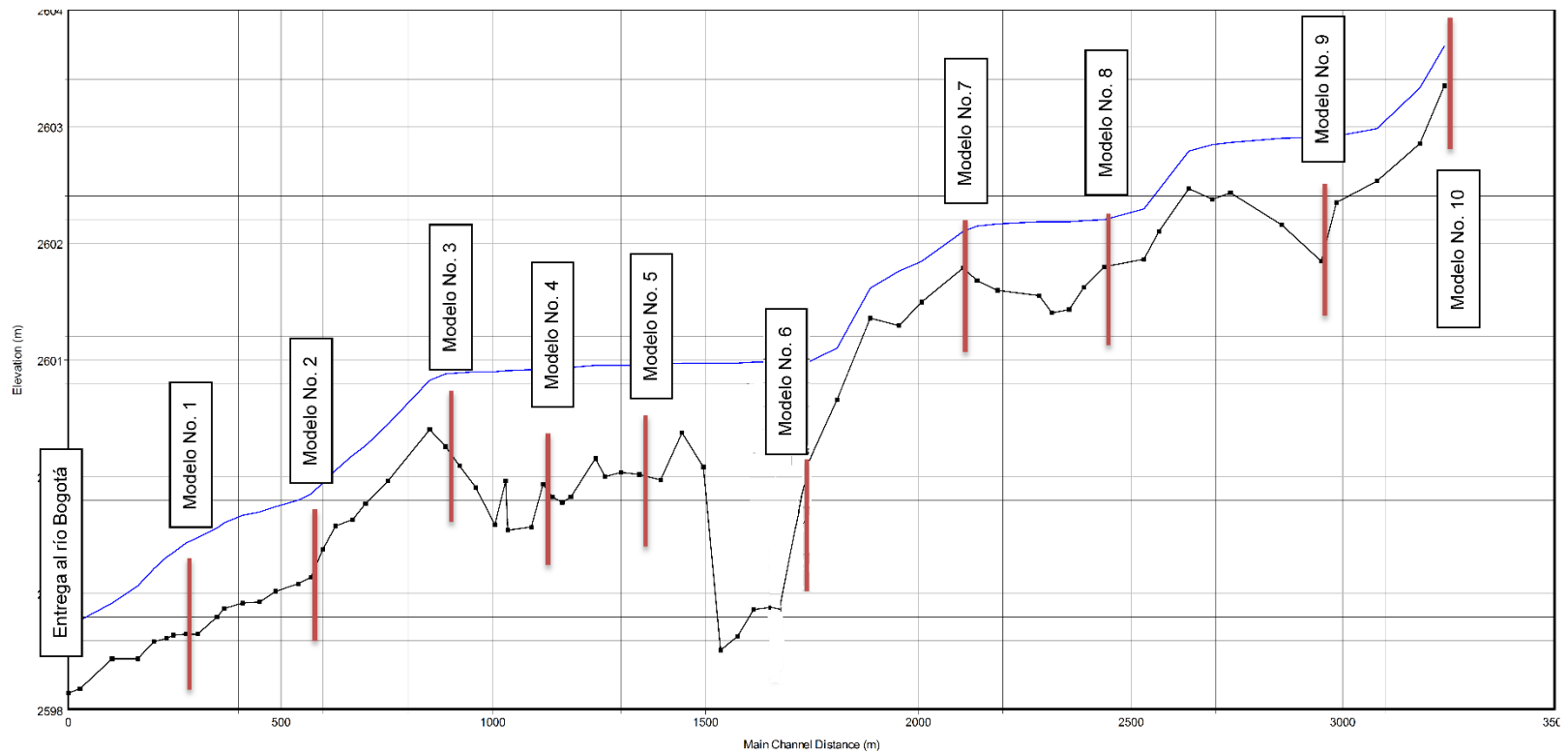


Figura 53. Perfil del río Sisga. Zonas usadas para la modelación en PHABSIM.
 Fuente: Elaboración propia – Programa computacional HEC - RAS

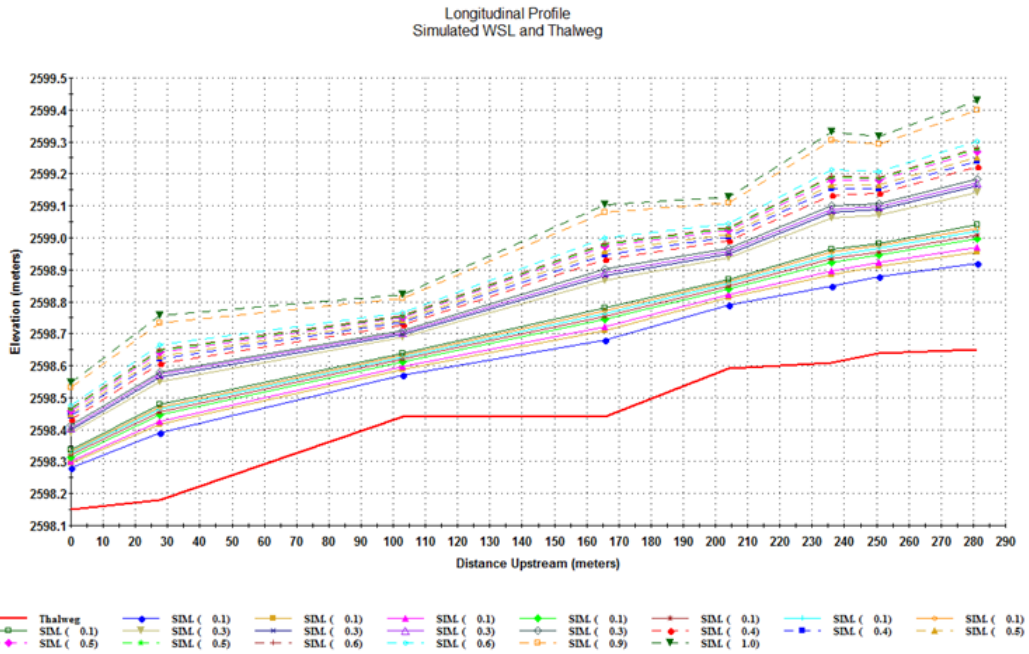


Figura 55. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 1 – Metodología MANSQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

En la Figura 54 y Figura 55, se presentan las láminas de agua propios a los caudales modelados para las secciones transversales del Modelo No. 1 y para las metodologías STGQ y MANSQ respectivamente. Al realizar la comparación de los dos resultados, se observa que las láminas de agua generadas con la metodología STGQ presentan un comportamiento similar para todos los caudales, sin cambios bruscos de pendiente hidráulica llegando a una cota de nivel de agua de 2599.4 msnm aproximadamente para el caudal de 1.00 m³/s, mientras que las láminas de agua generadas con la metodología MANSQ presentan algunos sobresaltos o cambios bruscos para los caudales más altos (0.9 m³/s y 1.0 m³/s), además, para caudales mayores a 0.30 m³/s las láminas de agua generadas presentan mayor variación de la pendiente hidráulica.

En la Figura 56 y Figura 57 se muestran las láminas de agua para los caudales modelados en las secciones transversales del Modelo No. 2 y para las metodologías STGQ y MANSQ respectivamente. Al comparar los dos resultados, se observa que las láminas de agua generadas con la metodología STGQ presentan un comportamiento similar para todos los caudales, sin cambios bruscos de pendiente hidráulica llegando a una cota de nivel de agua de 2599.9 msnm aproximadamente para el caudal de 1.00 m³/s, mientras que las láminas de agua generadas con la metodología MANSQ presentan algunos sobresaltos o cambios bruscos para los caudales más altos (0.9 y 1.0 m³/s), aumentando la pendiente de la lámina de agua con respecto a al pendiente del fondo del cauce.

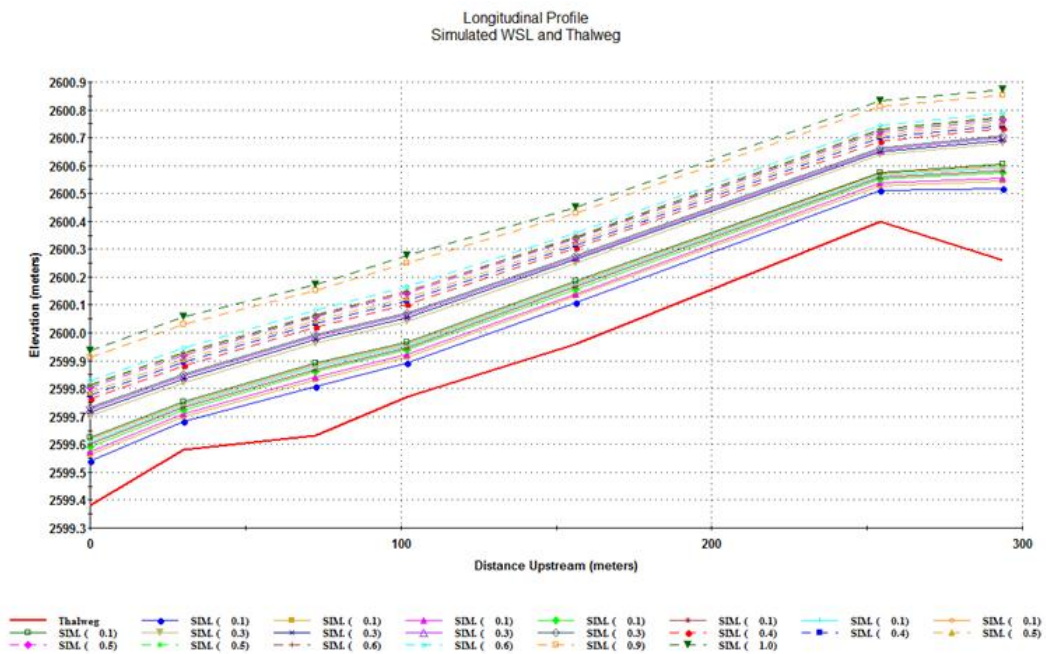


Figura 58. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 3 – Metodología STGQ.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

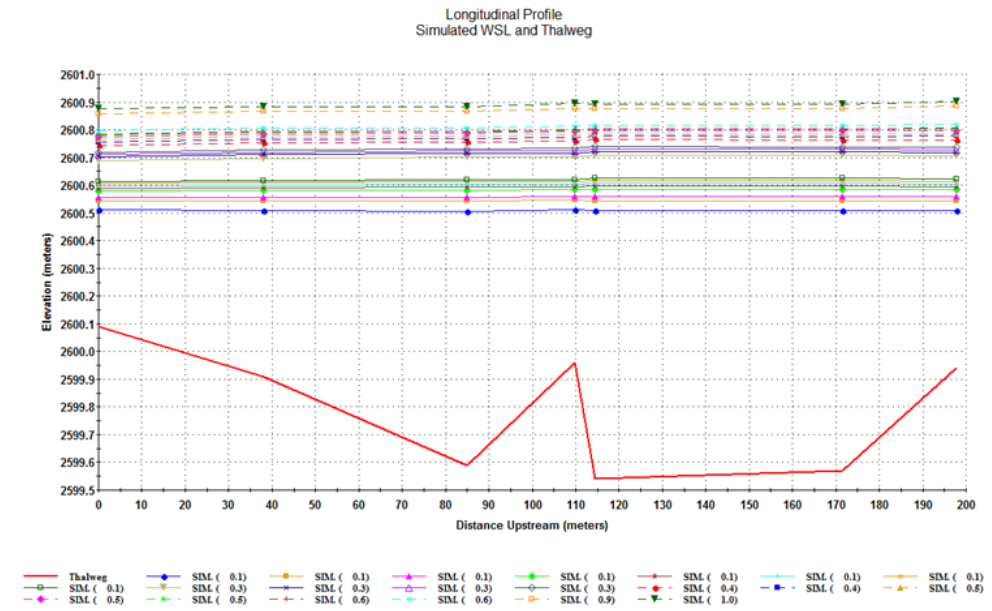


Figura 60. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 4 – Metodología STGQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

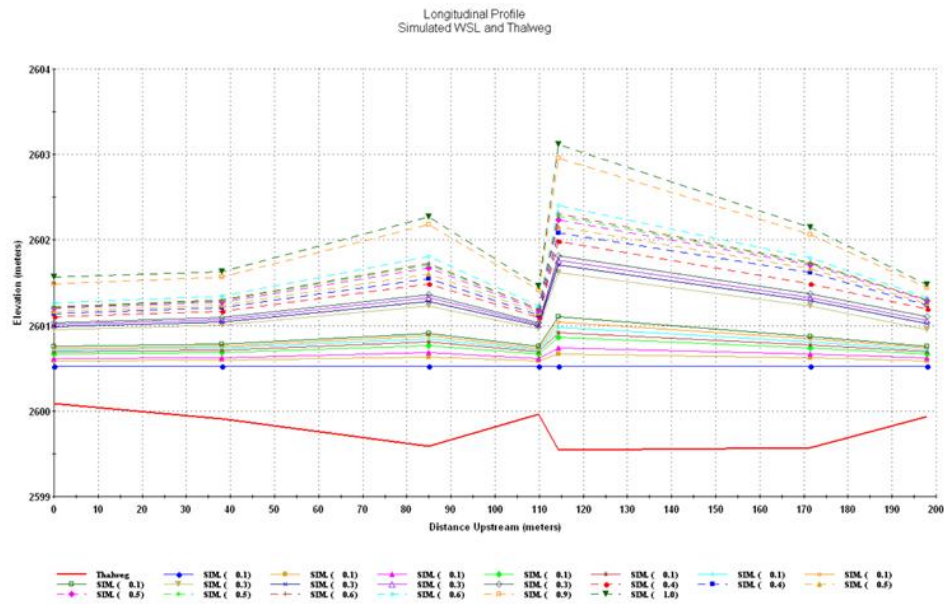


Figura 61. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 4 – Metodología MANSQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

En la Figura 60 y Figura 61 se presentan las láminas de agua propios de los caudales modelados para las secciones transversales del Modelo No. 4 y para las metodologías STGQ y MANSQ respectivamente. La comparación de los resultados, muestra que las láminas de agua generadas con la metodología STGQ presentan un comportamiento similar para todos los caudales, sin cambios bruscos de pendiente hidráulica llegando a una cota de nivel de agua de 2600.9 msnm para el caudal de 1.00 m³/s, mientras que las láminas de agua generadas con la metodología MANSQ presentan sobresaltos o cambios bruscos para los caudales mayores a 0.30 m³/s en las secciones ubicadas en el centro del tramo, se observa que a medida que aumenta el caudal, el cambio brusco se hace más notorio llegando a valores de nivel de agua de 2603 msnm, aproximadamente 3 m por encima del nivel de agua máximo generado en la metodología STGQ.

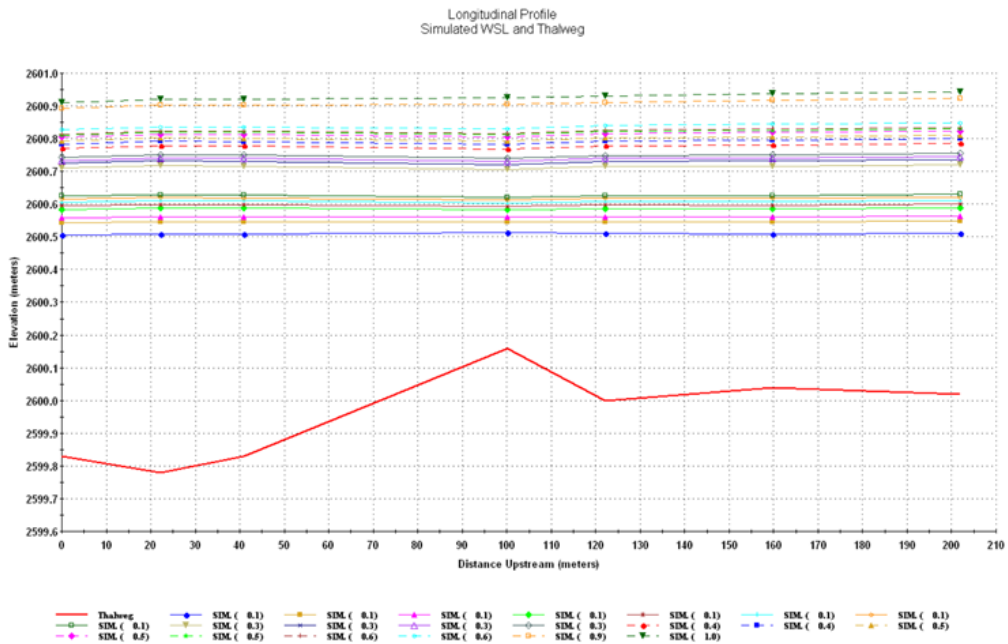


Figura 62. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 5 – Metodología STGQ.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

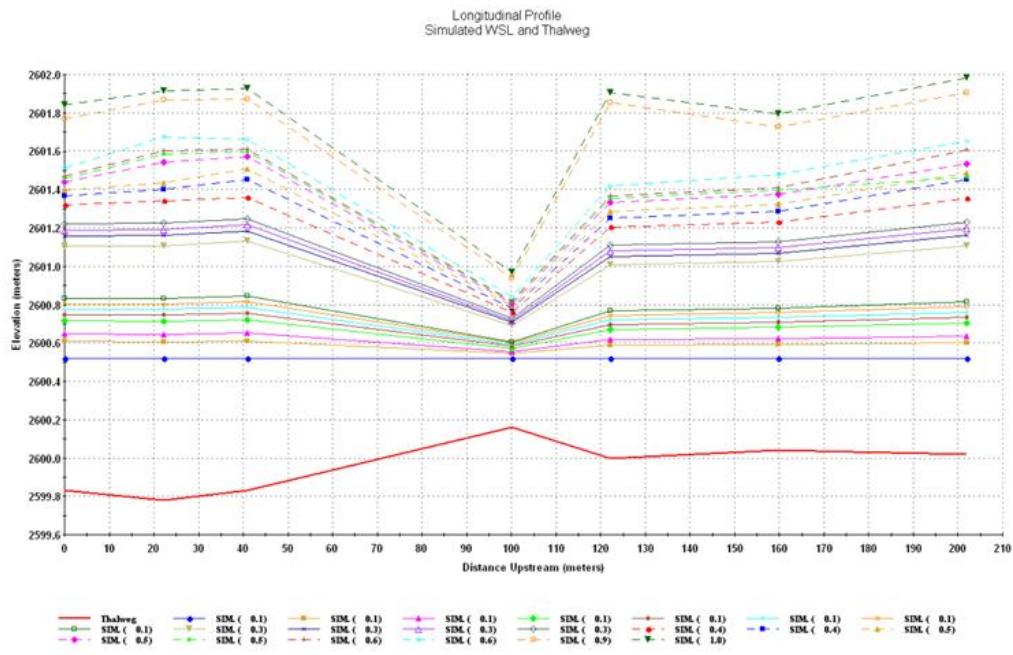


Figura 63. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 5 – Metodología MANSQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Para las secciones transversales del Modelo No. 5 y las metodologías STGQ y MANSQ respectivamente, las láminas de agua correspondientes a los caudales modelados, se presentan en la Figura 62 y Figura 63. Al realizar la comparación de los resultados, se observa que, las láminas de agua generadas con la metodología STGQ presentan un comportamiento similar para todos los caudales, sin cambios bruscos de pendiente hidráulica llegando a una cota de nivel de agua de 2600.95 msnm aproximadamente para el caudal de 1.00 m³/s , mientras que las láminas de agua generadas con la metodología MANSQ presentan sobresaltos o cambios bruscos para los caudales mayores a 0.30 m³/s en las secciones ubicadas en el centro del tramo, se observa que a medida que aumenta el caudal, el cambio brusco se hace más notorio llegando a valores de nivel de agua de 2602 msnm, aproximadamente 2 m por encima del nivel de agua máximo generado en la metodología STGQ. Cabe mencionar que, al ejecutar la modelación usando MANSQ se crea un cuadro de diálogo indicando que se realizaron varios intentos de calibración para un determinado caudal (esto depende de los valores de calibración

que se ingresan al programa) sin generarse un cálculo exitoso, por lo cual se pueden presentar resultados erróneos o incorrectos.

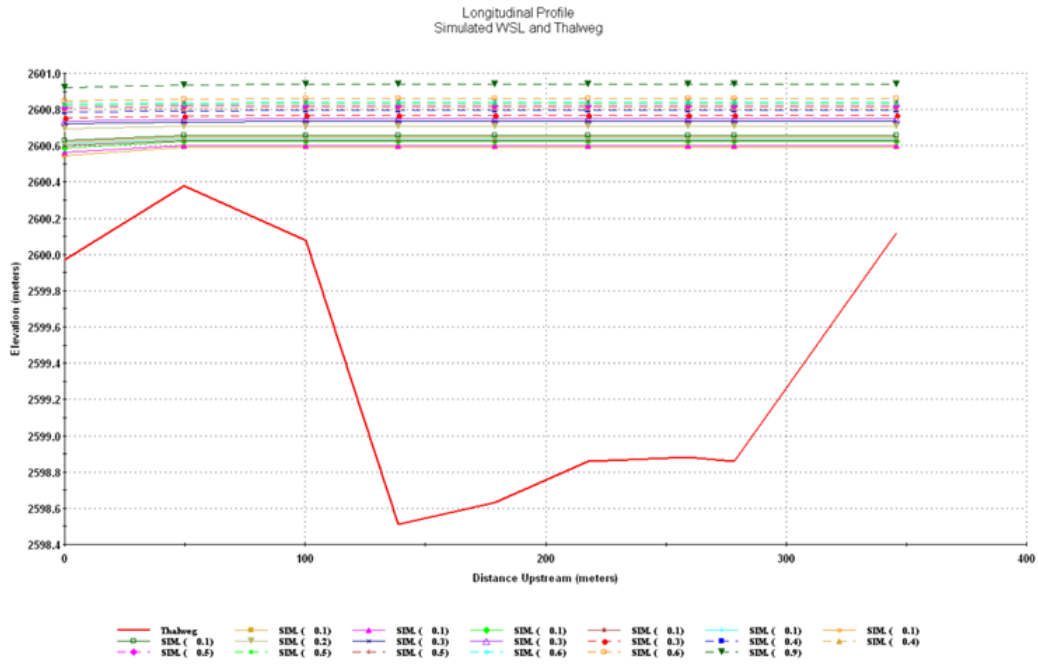


Figura 64. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 6 – Metodología STGQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

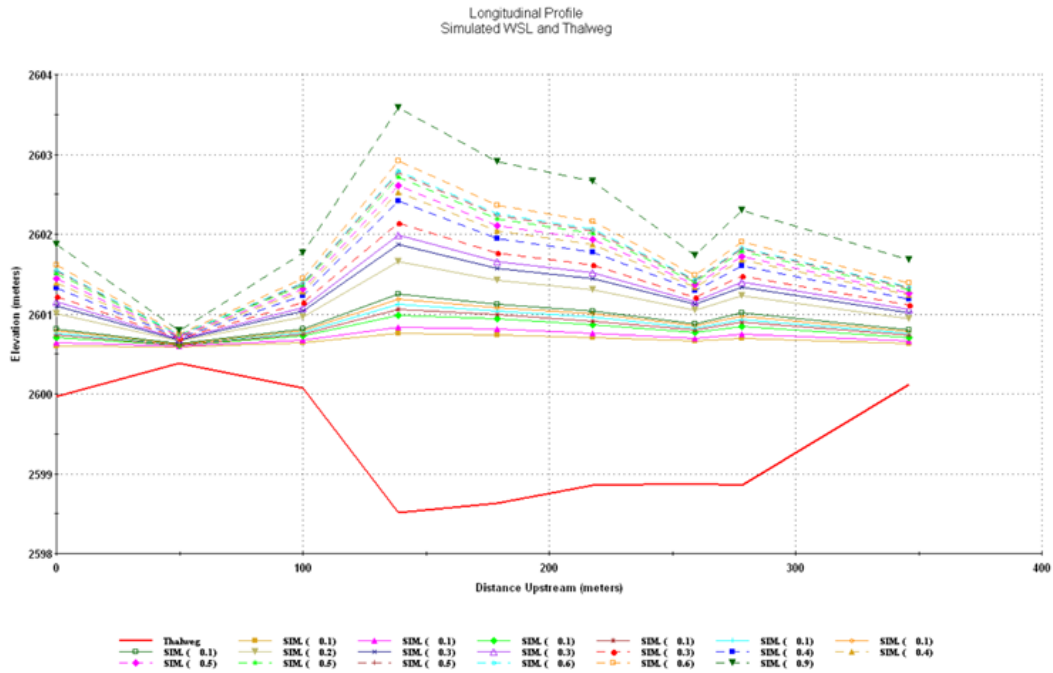


Figura 65. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 6 – Metodología MANSQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

En la Figura 64 y Figura 65, se muestran las láminas de agua propios de los caudales modelados para las secciones transversales del Modelo No. 6 y para las metodologías STGQ y MANSQ respectivamente. La comparación de los resultados, indica que las láminas de agua generadas con la metodología STGQ presentan un comportamiento similar para todos los caudales, sin cambios bruscos de pendiente hidráulica llegando a una cota de nivel de agua de 2601.0 msnm aproximadamente para el caudal de 1.00 m³/s , mientras que, las láminas de agua generadas con la metodología MANSQ presentan algunos sobresaltos o cambios bruscos para los caudales mayores a 0.30 m³/s, se observa que a medida que aumenta el caudal, el cambio brusco se hace más notorio llegando a valores de nivel de agua de 2604 msnm, aproximadamente 3 m por encima del nivel de agua máximo generado en la metodología STGQ.

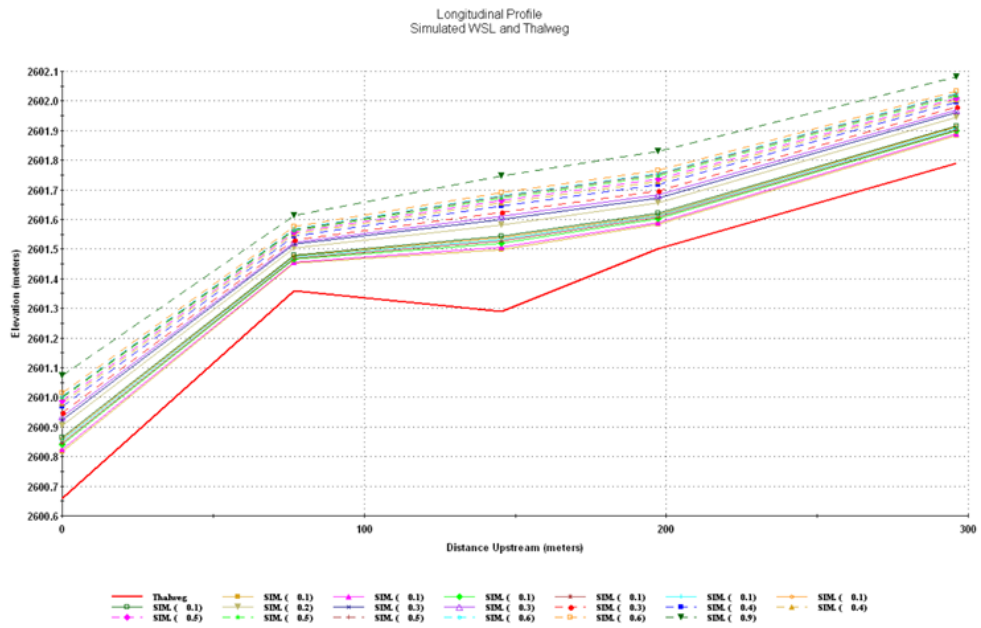


Figura 66. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 7 – Metodología STGQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

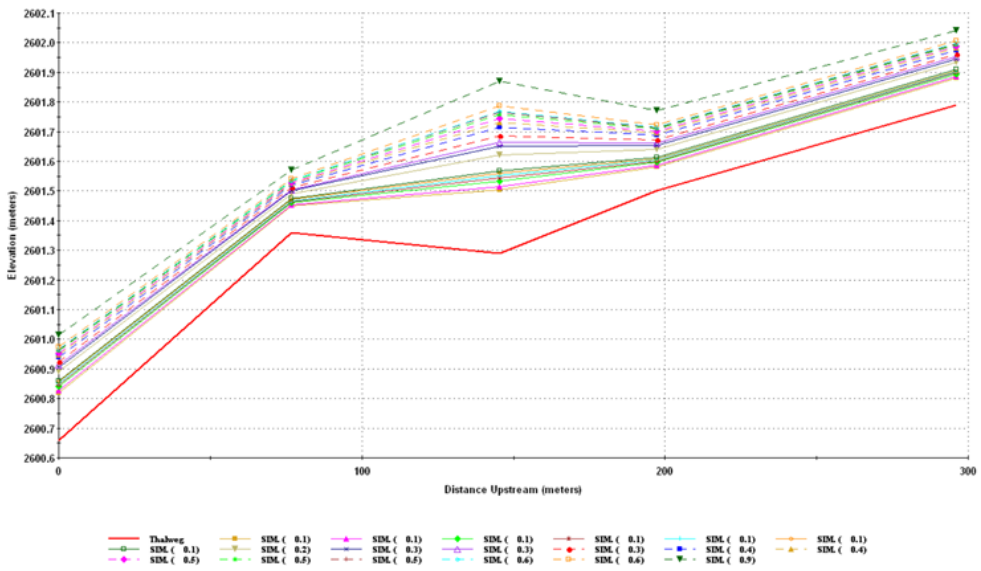


Figura 67. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 7 – Metodología MANSQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

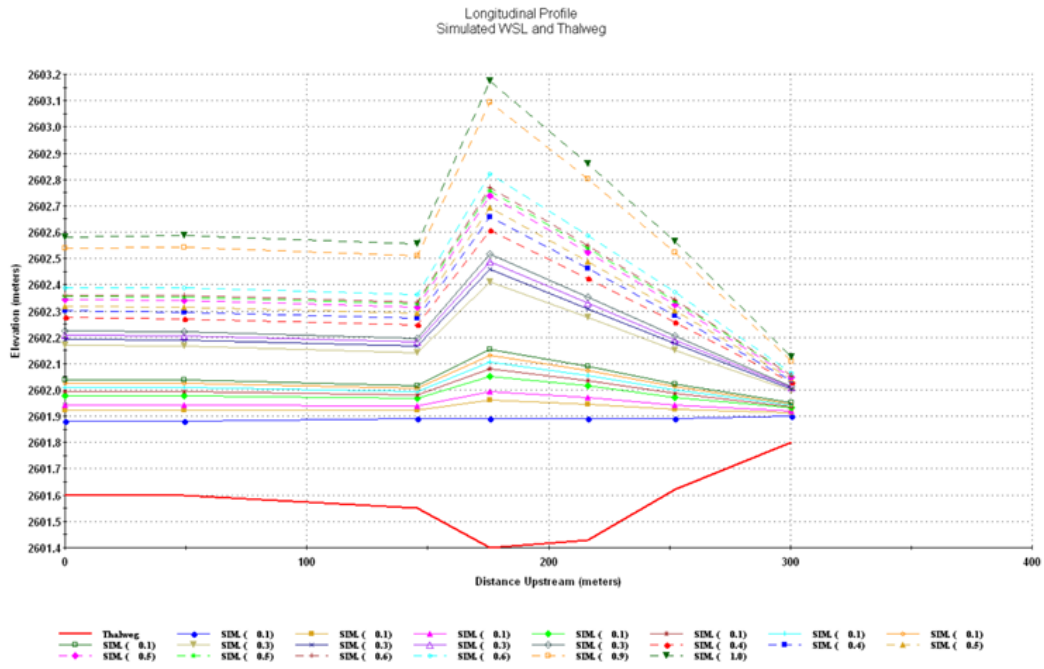


Figura 69. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 8 – Metodología MANSQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

En la Figura 68 y Figura 69 se muestran las láminas de agua para los caudales modelados en las secciones transversales del Modelo No. 8 y las metodologías STGQ y MANSQ respectivamente. La comparación de los resultados, muestra que, las láminas de agua generadas con la metodología STGQ presentan un comportamiento similar para todos los caudales, sin cambios bruscos de pendiente hidráulica llegando a una cota de nivel de agua de 2602.2 msnm para el caudal de 1.00 m³/s , mientras que las láminas de agua generadas con la metodología MANSQ presentan un cambio brusco para los caudales mayores a 0.30 m³/s, se observa que a medida que aumenta el caudal, el cambio brusco se hace más notorio llegando a valores de nivel de agua de 2603.2 msnm, aproximadamente 1.0 m por encima del nivel de agua máximo generado en la metodología STGQ.

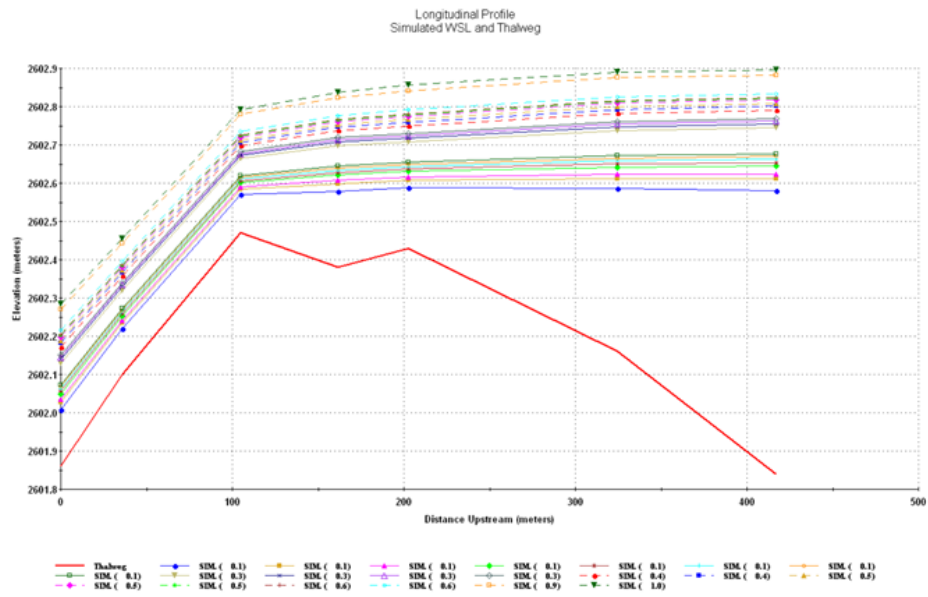


Figura 70. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 9 – Metodología STGQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

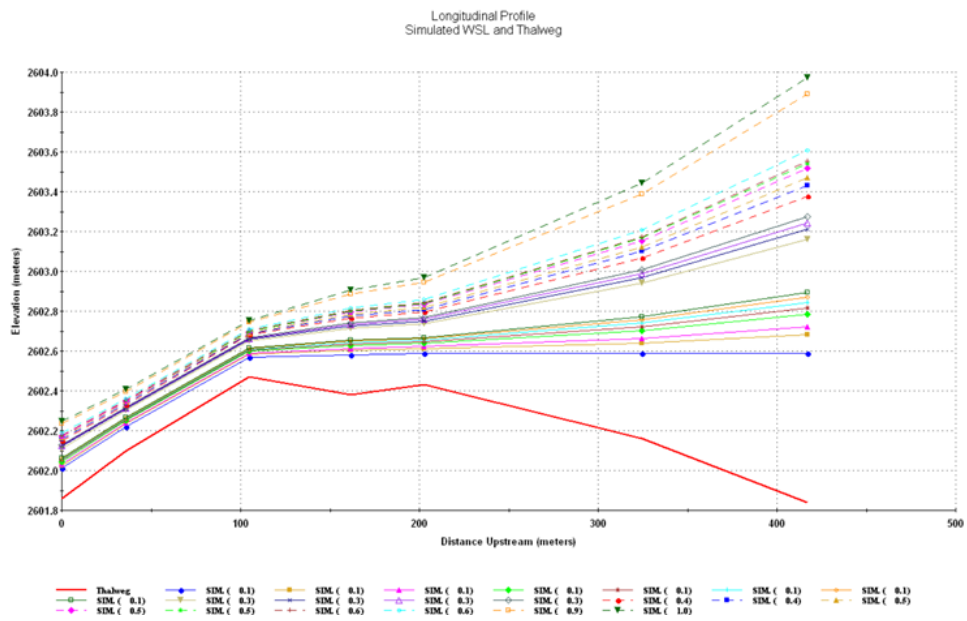


Figura 71. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 9 – Metodología MANSQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

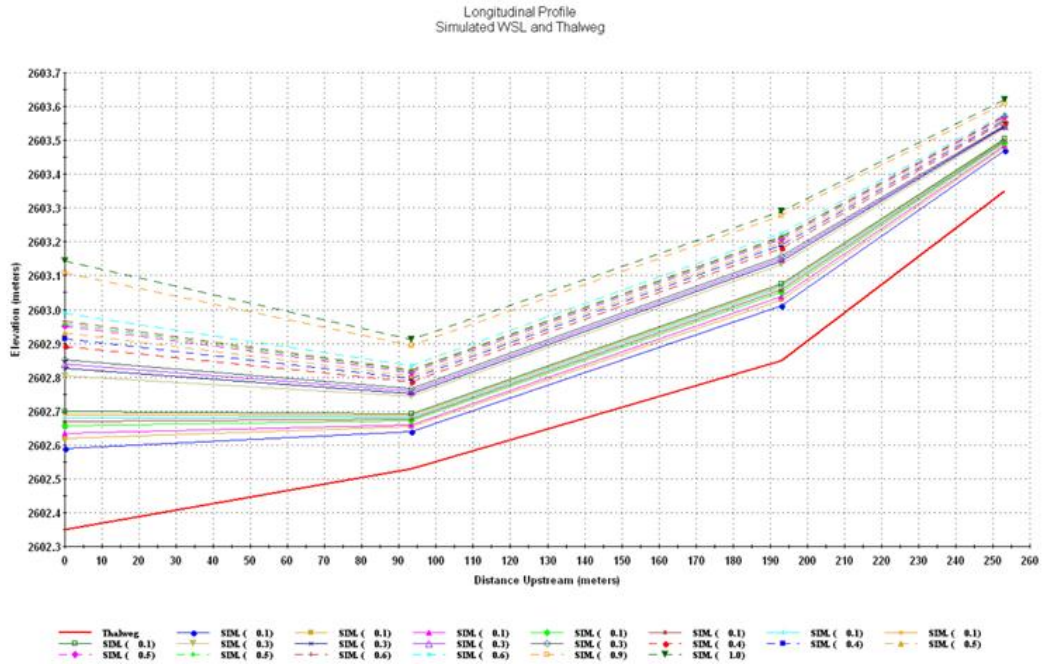


Figura 73. Resultados de la modelación de la lámina de agua para las secciones del Modelo No. 10 – Metodología MANSQ.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Finalmente, la Figura 72 y Figura 73 muestran las láminas de agua correspondientes a los caudales modelados para las secciones transversales del Modelo No. 10 y para las metodologías STGQ y MANSQ respectivamente. La comparación de los dos resultados, indica que las láminas de agua generadas con la metodología STGQ presentan un comportamiento similar para todos los caudales, sin cambios bruscos de pendiente hidráulica llegando a una cota de nivel de agua de 2603.7 msnm aproximadamente para el caudal de 1.00 m³/s , mientras que las láminas de agua generadas con la metodología MANSQ presentan un cambio brusco para los caudales de mayores a 0.30 m³/s, se observa que a medida que aumenta el caudal, el cambio brusco se hace más notorio llegando a valores de nivel de agua de 2603.6 msnm aproximadamente para el caudal de 1.00 m³/s.

Como se observa en las figuras anteriores, cuando se realiza la modelación usando MANSQ los resultados de lámina de agua son muy variables, las láminas de agua presentan cambios bruscos de la pendiente hidráulica y en algunos casos se generan errores durante la modelación lo cual hace que los resultados sean erróneos y poco confiables, por el

contrario, cuando se realiza la modelación con STGQ se observa que las láminas de agua simuladas presentan un comportamiento similar para todos los caudales, sin cambios bruscos de pendiente hidráulica, lo cual hace que los datos sean más confiables. Es por esto que, para realizar el análisis de simulación de velocidades y de hábitat en el tramo del río Sisga en estudio, solo se tendrán en cuenta los resultados de las modelaciones hechas con la metodología STGQ, estos resultados muestran ser más precisos y representativos.

9.2 Resultados de la Modelación de la Velocidad

La modelación de la velocidad se llevó a cabo usando el método VELSIM teniendo en cuenta que los datos de calibración o iniciales fueron tomados de la modelación hidráulica realizada en el programa computacional HEC – RAS. A continuación, se presentan los resultados de la simulación de la velocidad para cada una de las secciones transversales y solo para los modelos realizados con la metodología STGQ según lo comentado en el numeral anterior. En la Figura 74 y Figura 75 se presentan los resultados de la simulación de la velocidad para las 2 secciones transversales del Modelo No. 1, mientras que en el Anexo 5 se presentan los resultados de simulación de velocidad para los demás modelos realizados.

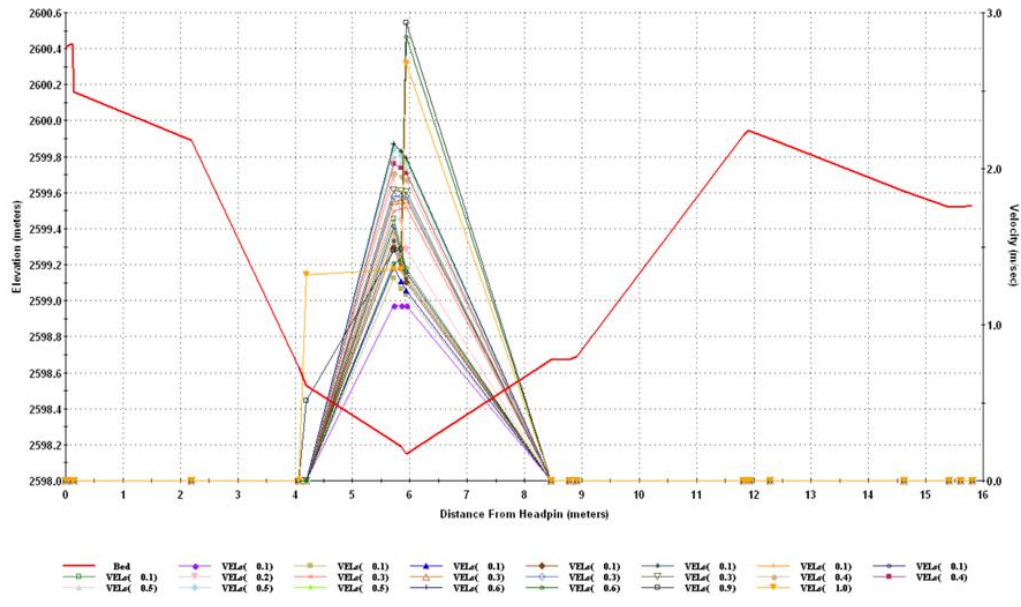


Figura 74. Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+000 del Modelo No. 1.
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

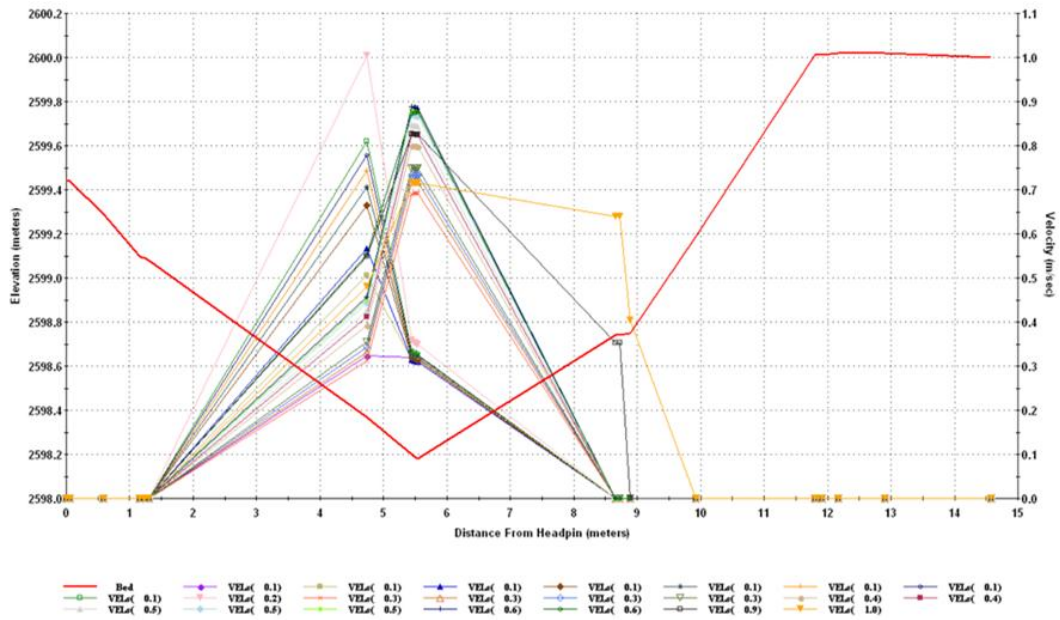


Figura 75. Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+028 del Modelo No. 1.
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

9.3 Resultados de la Modelación del Hábitat

El programa computacional PHABSIM genera dos tipos de resultados, en la pestaña Habitat Results se presentan los resultados de velocidad, área, sustrato, entre otros para cada sección transversal y para cada caudal modelado, mientras que en la pestaña WUA Results se muestran los resultados finales del hábitat disponible para el tramo modelado, y que permiten el análisis de los caudales ambientales que afectan el hábitat de una especie con los cuales, se toman decisiones para determinar el efecto generado por un proyecto, en este caso el efecto generado por la construcción del embalse del Sisga.

9.3.1 Resultados - WUA Results.

Por medio de los resultados en la pestaña WUA Results, se pudo identificar el caudal ambiental óptimo para una especie determinada, en este caso, el caudal ambiental óptimo para el macroinvertebrado Chironomidae. En la Tabla 18 y en la Figura 76 se presentan los resultados del área utilizable ponderada para todo el tramo de río y todos los caudales de análisis.

Tabla 18. Resultados de WUA para el tramo del río Sisga analizado

CAUDAL (m ³ /s)	ÁREA UTILIZABLE PONDERADA (m ² /1000m)
0.05	4485.17
0.07	5083.99
0.08	5303.79
0.10	5631.14
0.11	5752.27
0.12	5858.31
0.13	5947.04
0.14	6013.71
0.22	6236.94
0.27	6134.08
0.30	6118.84
0.32	6095.98
0.34	6072.53
0.41	5968.07
0.45	5903.99
0.48	5860.89
0.52	5802.94
0.54	5771.76
0.55	5801.62
0.60	5732.33

CAUDAL (m ³ /s)	ÁREA UTILIZABLE PONDERADA (m ² /1000m)
0.90	5108.36
1.00	4908.39

Fuente: Elaboración propia

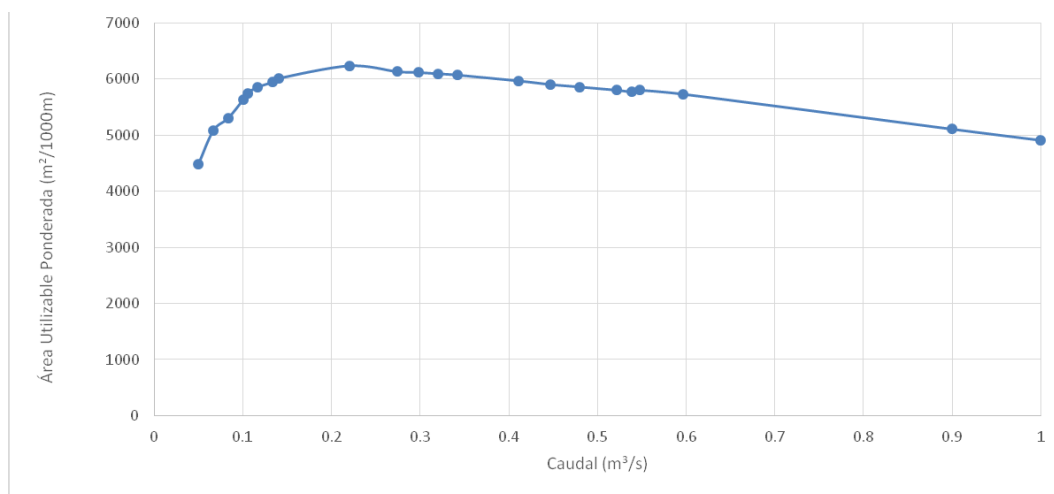


Figura 76. Resultados de WUA para el tramo del río Sisga analizado.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

En la gráfica se observa que, para caudales comprendidos entre 0.05 y 0.22 m³/s, la curva crece de manera acelerada, con una pendiente pronunciada, alcanzando un máximo de área disponible de 6236.94 m²/1000 m, mientras que, a partir de este valor, la curva decrece de manera lenta obteniendo un valor de área disponible de 4908.39 m²/1000 m correspondiente a un caudal de 1.00 m³/s.

Para un mejor análisis de los resultados generados por la modelación en PHABSIM, se tuvieron en cuenta algunos criterios para la determinación de los caudales ambientales presentados en Mayo, (2000), tales como:

1. Caudal óptimo potencial:

De acuerdo a Mayo, (2000), el caudal óptimo potencial es el valor máximo alcanzado por la curva Caudal vs. WUA. Sin embargo, aunque este valor produce un máximo potencial de hábitat en el tramo de estudio, no necesariamente significa que se vaya

a obtener mayor cantidad de hábitat. Se debe tener en cuenta que, este valor de caudal en algunos casos requiere de condiciones óptimas para alcanzar una gran cantidad de agua, condiciones que tal vez no se darán en la zona de forma natural. Para el caso de estudio se tiene que el caudal óptimo potencial en todo el tramo de río analizado es de 0.22 m³/s alcanzando un área disponible de 6094.01 m²/1000 m.

2. Caudal óptimo:

El valor de Caudal óptimo, se refiere al punto de inflexión de la curva Caudal vs. WUA, es decir, el punto en donde se observa un cambio considerable en la curva. Para este valor “los beneficios en hábitat son máximos con el mínimo caudal posible” (Mayo, 2000).

En la escogencia del caudal óptimo, se asume que cada especie tiene varias etapas durante su ciclo vital¹³, por lo cual, se requiere un valor de caudal óptimo diferente, es por esto que se tienen en cuenta algunas consideraciones tales como:

- El caudal que genera beneficios en una etapa de vida de una especie no necesariamente genera beneficios en las otras etapas del ciclo de vida.
- El caudal que genera beneficios para una especie, puede ser perjudicial para otras especies.
- Varias etapas de vida o varias especies, pueden necesitar diferentes caudales dependiendo la época del año.
- El caudal que genera la máxima área disponible en tramo del cauce puede no generar hábitat disponible en otras partes del cauce.
- Más agua no significa que se cuente con más área disponible.

¹³ Los peces tienen diferentes etapas durante su ciclo de vida las cuales son en general: ovas o huevos, etapa de alevinaje, comprende desde el proceso de liberación del huevo hasta los seis meses de edad, la etapa juvenil que comprende el periodo entre los seis meses y el año de edad y finalmente la etapa adulta que comienza a partir del año de edad.

Sin embargo, y debido a la falta de información de los ciclos de vida de las especies que se tiene en Colombia, solamente se analizó un valor de caudal óptimo en el río Sisga para una sola etapa de vida de la especie Chironomidae.

Teniendo en cuenta la Tabla 18, para el caso de estudio, se tiene que, el caudal óptimo en todo el tramo de río analizado es de 0.27 m³/s alcanzando un área disponible de 6134.08 m²/1000 m.

De igual forma, en la Tabla 19 se presentan los valores de caudal óptimo para los 10 modelos realizados con el fin de analizar en qué parte del río se obtienen mejores resultados.

Tabla 19. Caudales óptimos para los 10 modelos analizados

MODELO No.	CAUDAL ÓPTIMO (m ³ /s)	ÁREA UTILIZABLE PONDERADA (m ² /1000m)
1	0.60	453.87
2	0.30	385.57
3	0.45	396.00
4	0.34	256.06
5	0.14	493.95
6	0.27	403.14
7	0.60	796.59
8	0.27	1199.62
9	0.27	1131.89
10	0.14	743.37

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, las partes del río correspondientes a los Modelos No. 8, 9 y 10 (ver Figura 53) presentan la mayor área de hábitat disponible con valores de 1199.62, 1131.89 y 743.37 m²/1000 m respectivamente, mientras que las partes representadas por los Modelos No. 2, 3 y 4 son las que indican los valores más bajos de hábitat disponible con 369.23, 396.00 y 256.06 m²/1000 m para los respectivos modelos.

De acuerdo a la Figura 53 y al perfil del tramo del río obtenido en la modelación de PHABSIM, se tienen las siguientes características de interés:

- Tramos 8, 9 y 10: como se observa en el perfil, esta zona es la más cercana a la descarga del embalse del Sisga, es una zona con un fondo heterogéneo

lo cual facilita la acumulación del agua o empozamiento en algunos sectores. Los tramos presentan pendientes bajas con respecto a los demás analizados, con un máximo de 0.39% en el tramo correspondiente al Modelo No. 10. En estas zonas es probable que se presenten velocidades bajas con respecto a los demás, debido a su baja pendiente, asimismo, estas zonas cuentan con profundidades que varían entre 0.30 y 0.70 m aproximadamente con relación a los caudales óptimos seleccionados.

- Tramos 2, 3 y 4: de acuerdo al perfil, esta es la zona más aguas abajo del tramo del río Sisga, los tramos 2, 3 y 4 se encuentran en cercanías a la desembocadura en el río Bogotá. Presentan un fondo homogéneo, condición que no permite el empozamiento y una pendiente alta con respecto a los tramos 8, 9 y 10 con un máximo de 0.45 % en el tramo correspondiente al Modelo No. 3. Al presentar un fondo homogéneo y pendientes más altas que los tramos de los modelos No. 8, 9 y 10, se generan velocidades más altas. Finalmente, se cuenta con profundidades que varían entre 0.30 y 1.20 m aproximadamente respecto a los caudales óptimos seleccionados.

Con base a lo anterior, se tiene que los valores de caudales óptimos que generan mejores resultados de hábitat disponible, se producen en los tramos de los modelos No. 8 y 9, ya que las características de estos se acercan bastante a las preferencias de velocidad y profundidad del macroinvertebrado Chironomidae, es decir, lugares donde se presenten profundidades y velocidades bajas, como se presenta en el Numeral 4.1.4.

Finalmente, y teniendo en cuenta los resultados de la zona completa del río Sisga, tal como se presentan en la Tabla 18 y el análisis por tramos, se concluye que el caudal óptimo que genera mejores efectos de área utilizable ponderada es de 0.27 m³/s con el cual se alcanza 6134.08 m²/1000 m. El valor de caudal fue calculado mediante la variación de los porcentajes de los caudales medios de la estación Represa Sisga, y según la curva de duración de caudales que se encuentra en un 85% del tiempo, lo que significa que el tramo del río analizado mantiene esa cantidad

de agua la mayor parte del tiempo. Por otro lado, el caudal óptimo seleccionado es muy cercano al caudal ambiental calculado por medio de la metodología IDEAM para la estación Represa Sisga ($0.34 \text{ m}^3/\text{s}$), con una diferencia de $0.07 \text{ m}^2/\text{s}$.

Teniendo en cuenta los valores de caudal ambiental calculados mediante la variación de los porcentajes de los caudales medios de la estación La Ibera, se simuló la zona antes de la construcción de la represa, encontrando que el caudal óptimo seleccionado es mayor a los valores de la estación La Iberia, se puede concluir entonces, que la construcción de la represa del Sisga no afectó el hábitat del macroinvertebrado Chironomidae, sino, por el contrario, al parecer mejoró las condiciones de vida de la especie, al garantizar condiciones óptimas en su hábitat.

Con otra comparación, se confrontó el valor de hábitat disponible por el caudal de $0.27 \text{ m}^3/\text{s}$ ($6134.08 \text{ m}^2/1000 \text{ m}$) y el valor del hábitat generado por el caudal de $0.90 \text{ m}^3/\text{s}$, calculado por medio de la metodología del ENA para la estación Represa Sisga, siendo uno de los valores de caudal ambiental más altos que se calcularon en el presente informe, se observa que, el hábitat disponible para la especie disminuye, llegando a un valor de $5108.36 \text{ m}^2/1000 \text{ m}$, con una diferencia de $1025.72 \text{ m}^2/1000 \text{ m}$, lo que representa que “más agua no significa que se cuente con más área disponible”, como lo menciona Mayo, (2000).

Cabe mencionar, que a pesar de que el caudal óptimo es diferente para cada modelación como se observa en la Tabla 19, los valores de WUA correspondientes a estos caudales no presentan mayor diferencia con respecto al WUA generado por el caudal óptimo seleccionado, lo cual significa que, en la mayoría de los tramos modelados, el caudal óptimo seleccionado garantiza un área disponible óptima para el desarrollo del macroinvertebrado Chironomidae. Lo anterior se presenta de la Figura 77 a la Figura 83, en donde el color rojo representa el caudal óptimo seleccionado, $0.27 \text{ m}^3/\text{s}$ y en color verde se presenta el caudal óptimo de cada modelación.

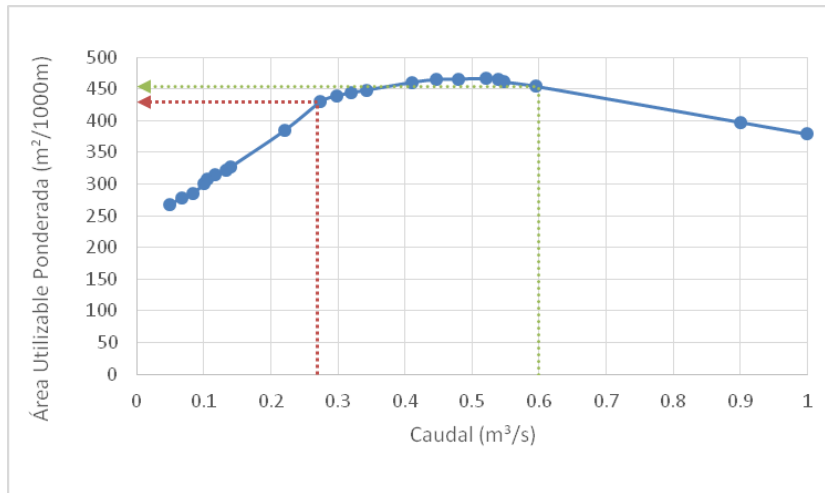


Figura 77. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 1 y el caudal óptimo seleccionado.
Fuente: Elaboración propia

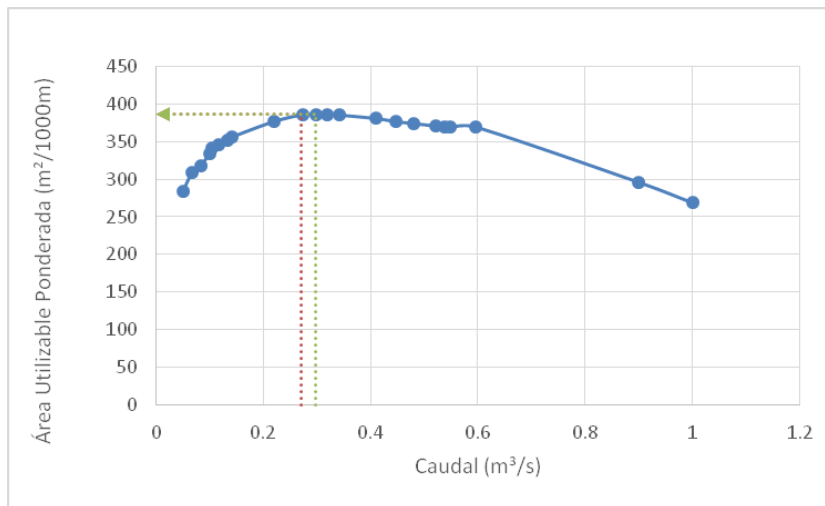


Figura 78. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 2 y el caudal óptimo seleccionado.
Fuente: Elaboración propia

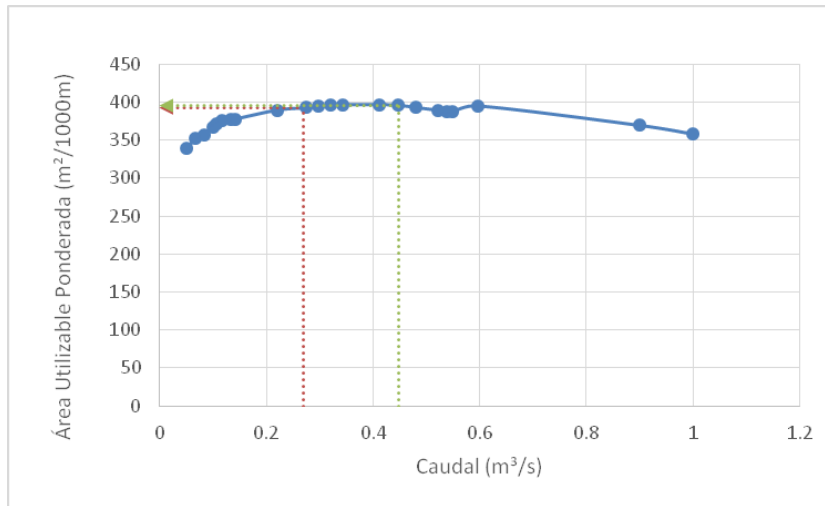


Figura 79. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 3 y el caudal óptimo seleccionado.
Fuente: Elaboración propia

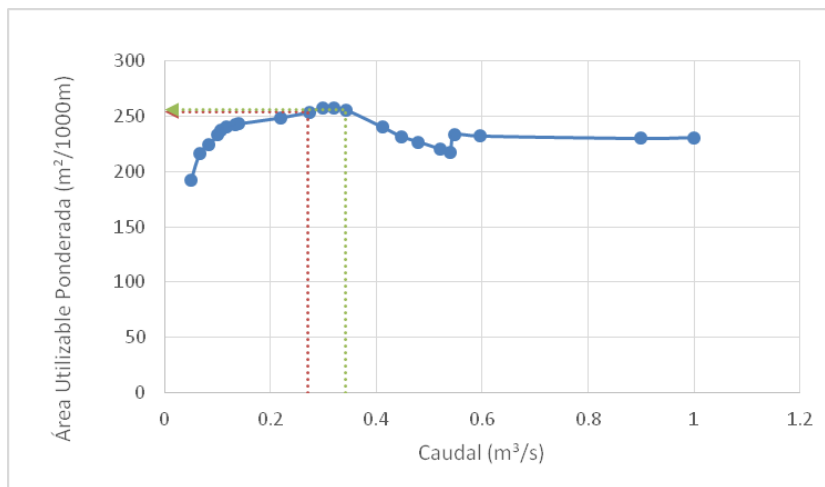


Figura 80. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 4 y el caudal óptimo seleccionado.
Fuente: Elaboración propia

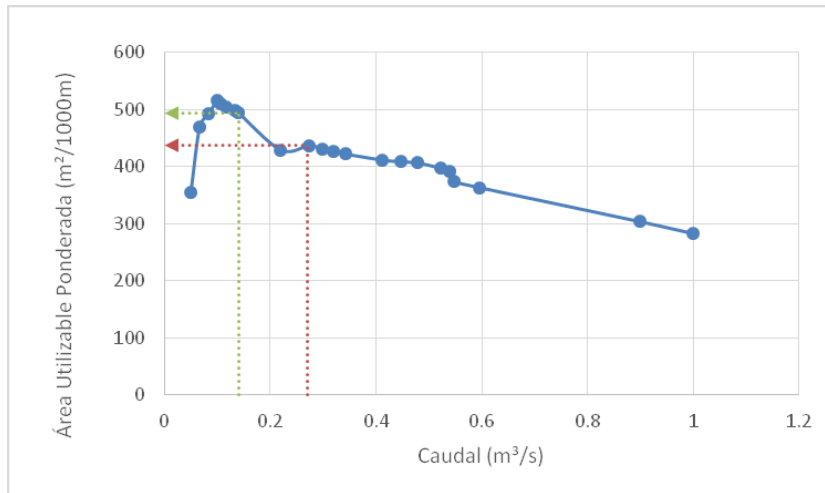


Figura 81. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 5 y el caudal óptimo seleccionado.
Fuente: Elaboración propia

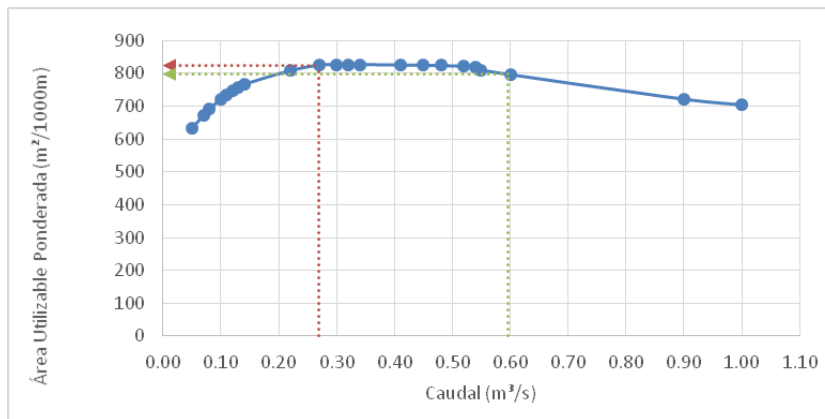


Figura 82. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 7 y el caudal óptimo seleccionado.
Fuente: Elaboración propia

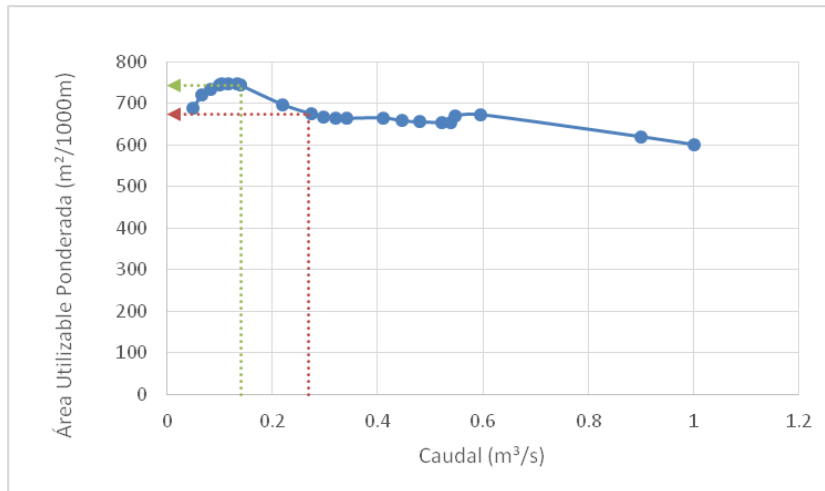


Figura 83. Comparación del WUA generado por el caudal óptimo del Modelo No. 10 y el caudal óptimo seleccionado.

Fuente: Elaboración propia

9.3.2 Resultados - Habitat Results.

Con base a lo anterior, a continuación, se presentan los resultados de la pestaña Habitat Results del programa PHABSIM para el caudal seleccionado 0.27 m³/s, en cada uno de los tramos analizados. De manera gráfica, se presentan en 2D y 3D la simulación del río, los colores en tonos rojos y naranjas representan mayor porcentaje de hábitat, los tonos verdes representan un porcentaje medio de hábitat disponible mientras que los tonos azules significan el menor porcentaje de hábitat que se tiene en cada sección transversal. Los resultados para los demás caudales se presentan en el Anexo 4.

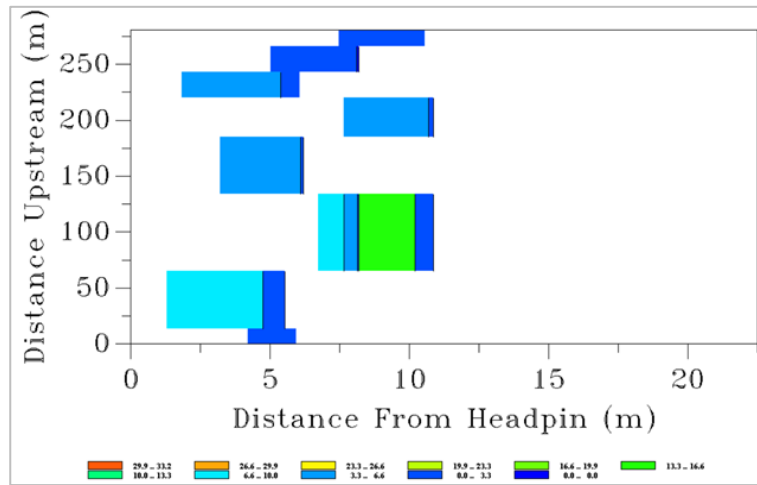


Figura 84 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 1 y para el caudal de 0.27 m³/s – 2D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

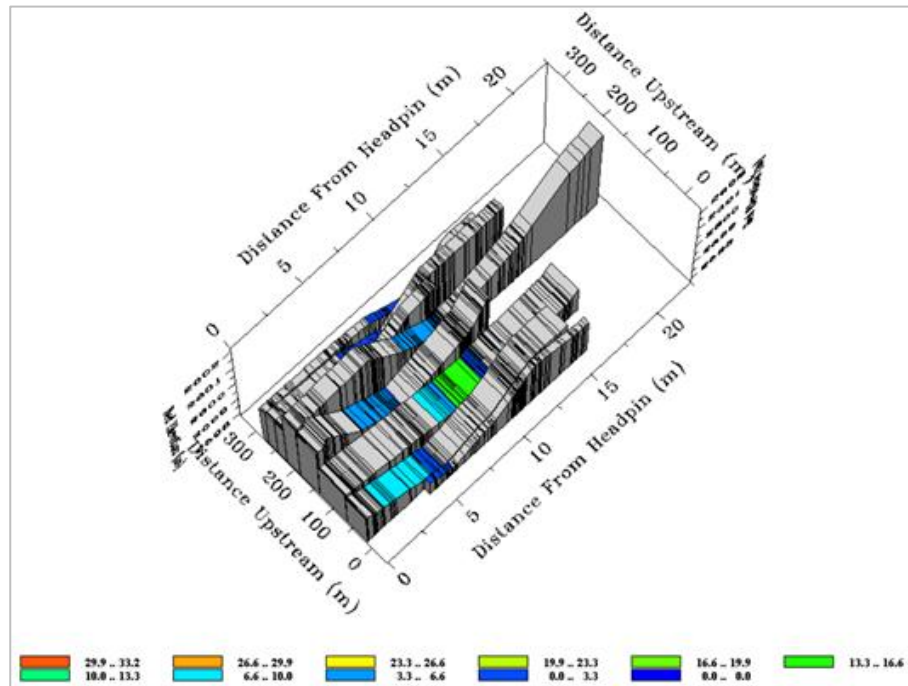


Figura 85 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 1 y para el caudal de 0.27 m³/s – 3D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

La Figura 84 y Figura 85, representan el tramo correspondiente al Modelo No. 1, ubicado aguas abajo, exactamente en la desembocadura en el río Bogotá. Se presenta el porcentaje de hábitat disponible para el macroinvertebrado Chironomidae en las 8 secciones (cada franja representa una sección) más aguas abajo del río Sisga para un caudal de 0.270 m³/s. Como se observa, el hábitat disponible se encuentra en su mayoría en la margen izquierda o hacia el centro de las secciones transversales. El mayor porcentaje de hábitat disponible se presenta en la sección k0+103 en la parte central de la sección con valores que varían entre 13.7 y 33.23% de WUA. Por otro lado, la zona que cuenta con menos hábitat es en la sección k0+000 la cual tiene solamente 1.7 m de margen izquierda con hábitat disponible correspondiente a un valor de 0.25%.

En la Figura 86 y Figura 87 se presenta el tramo correspondiente al Modelo No. 2, con los resultados para el caudal óptimo de 0.27 m³/s.

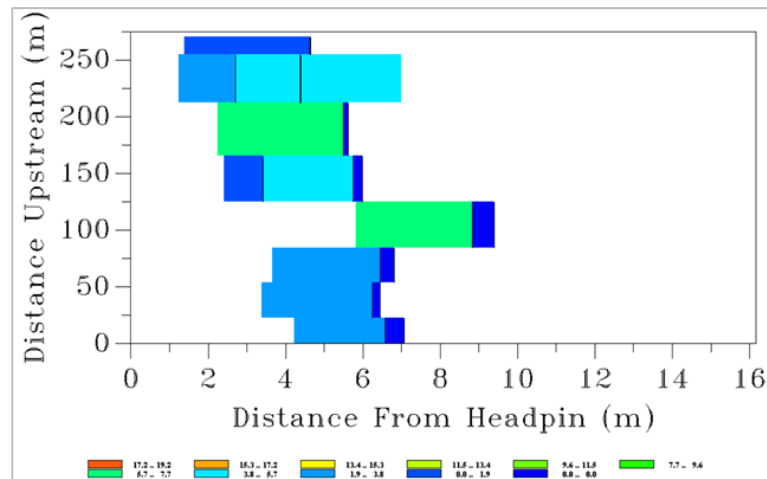


Figura 86 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 2 y para el caudal de 0.27 m³/s – 2D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

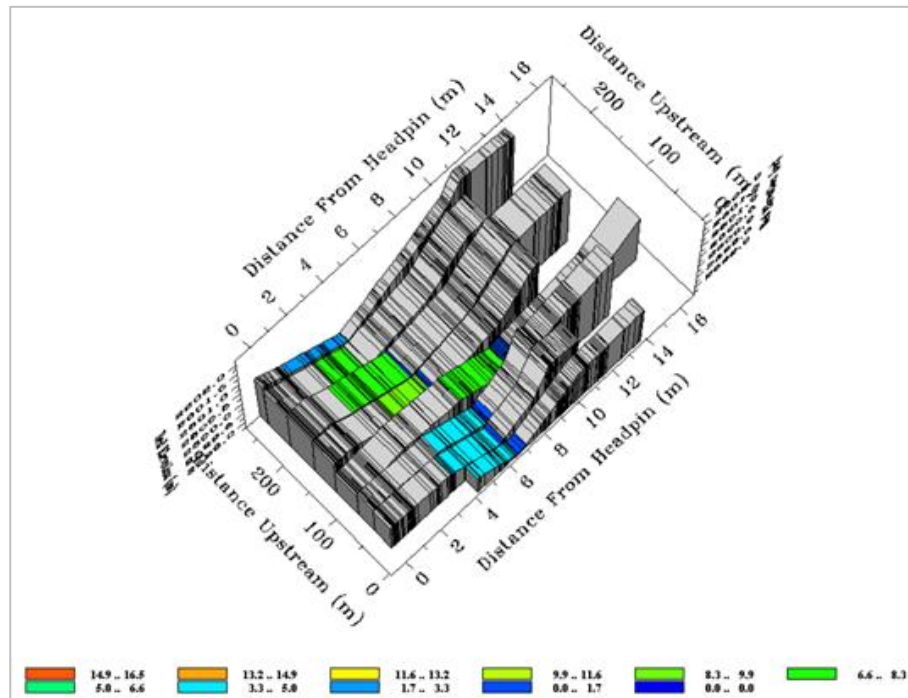


Figura 87 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 2 y para el caudal de 0.27 m³/s – 3D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Al igual que en el Modelo No. 1, en el Modelo No. 2 el hábitat disponible se ubica en su mayoría en la margen izquierda o hacia el centro de las secciones transversales. El mayor porcentaje de hábitat disponible se presenta en las secciones k0+416 a k0+550 en la margen izquierda de las secciones con valores que varían entre 16.55% de WUA en la sección k0+416 y 11.60% de WUA en la sección k0+550. Por otro lado, la zona que cuenta con menos hábitat es la sección k0+581 la cual tiene 1.7% de hábitat disponible.

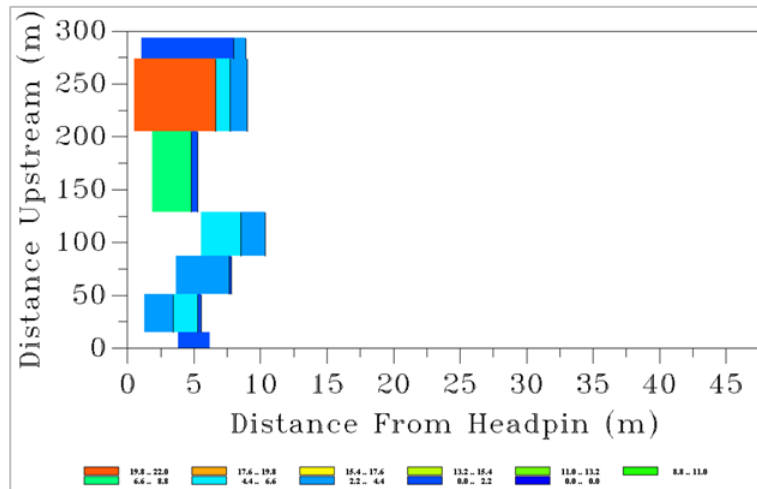


Figura 88 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 3 y para el caudal de 0.27 m³/s – 2D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

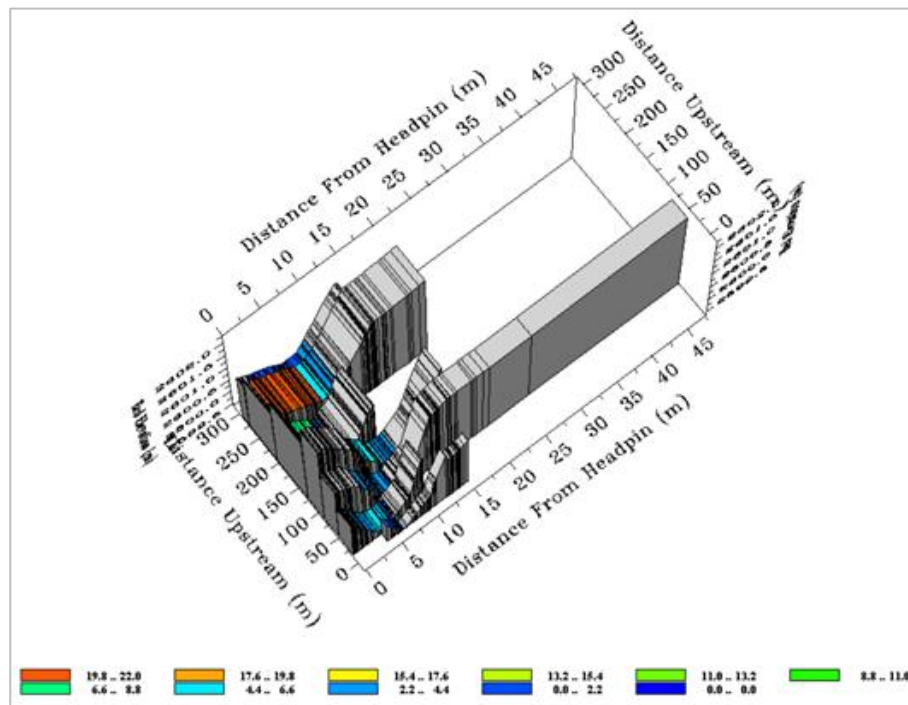


Figura 89 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 3 y para el caudal de 0.27 m³/s – 3D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Se presentan en la Figura 88 y Figura 89 los resultados del comportamiento del hábitat disponible en el Modelo No. 3 con el caudal óptimo seleccionado. Se observa que el hábitat disponible para la especie en estudio, sigue presentándose en la margen izquierda de las secciones transversales. El mayor porcentaje de hábitat disponible se encuentra en la sección k0+862 donde se tiene un porcentaje de área disponible máximo de 21.95, mientras que la zona que cuenta con menos hábitat es la sección k0+608 que tiene 2.4 m de hábitat disponible en la margen izquierda con un porcentaje máximo de 1.2%.

En la Figura 90 y Figura 91 se muestra el tramo correspondiente al Modelo No. 4, con los resultados para el caudal óptimo de 0.27 m³/s.

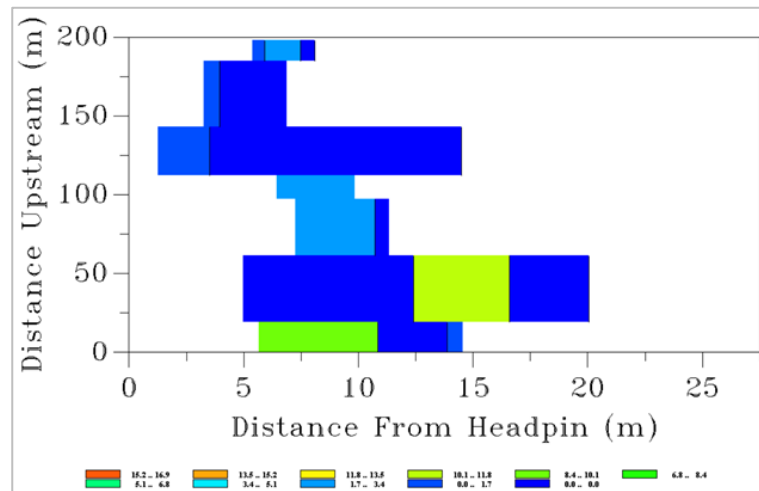


Figura 90 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 4 y para el caudal de 0.27 m³/s – 2D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

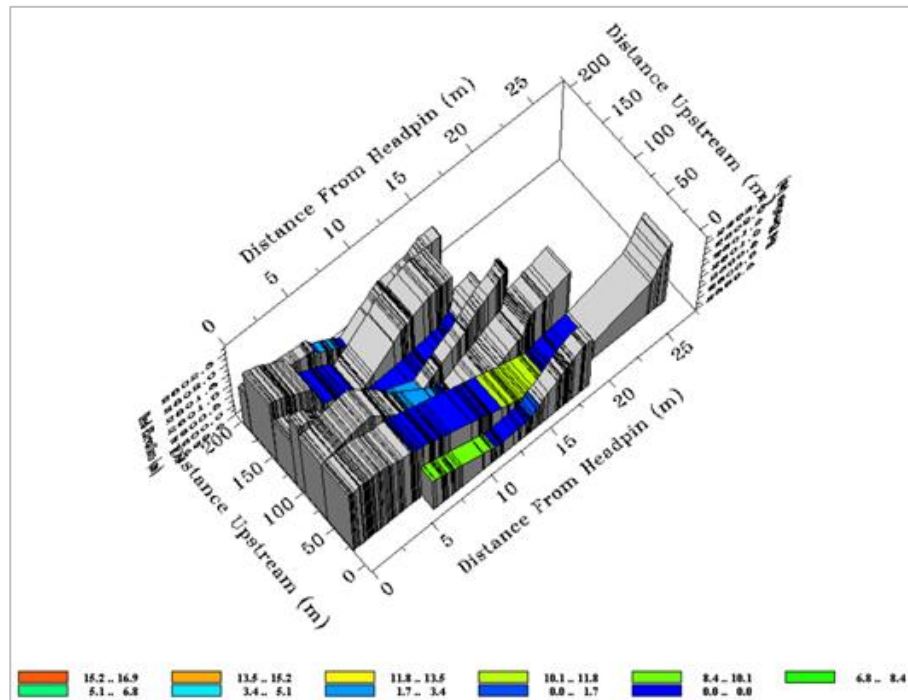


Figura 91 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 4 y para el caudal de 0.27 m³/s – 3D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

En el Modelo No. 4, se observa que la mayoría de las secciones transversales poseen área de hábitat disponible en casi toda su configuración. Por ejemplo, en las secciones k0+933 y k1+047 aunque el porcentaje de hábitat es bajo, variando entre 0.5 y 8.5% de WUA y 0.2 y 0.7% de WUA respectivamente, se tiene un área disponible en casi toda la sección, mientras que en la sección k0+971 se presenta área disponible en casi toda la sección con porcentajes mayores, alcanzando un máximo de 16.8% de WUA.

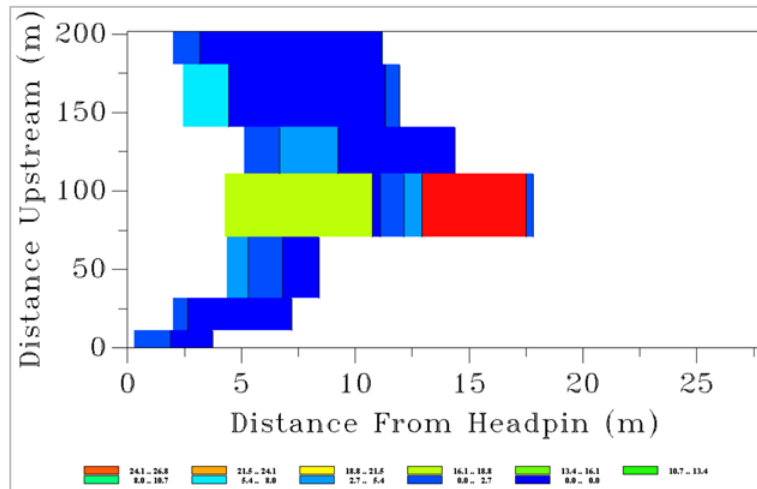


Figura 92 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 5 y para el caudal de $0.27 \text{ m}^3/\text{s} - 2\text{D}$.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

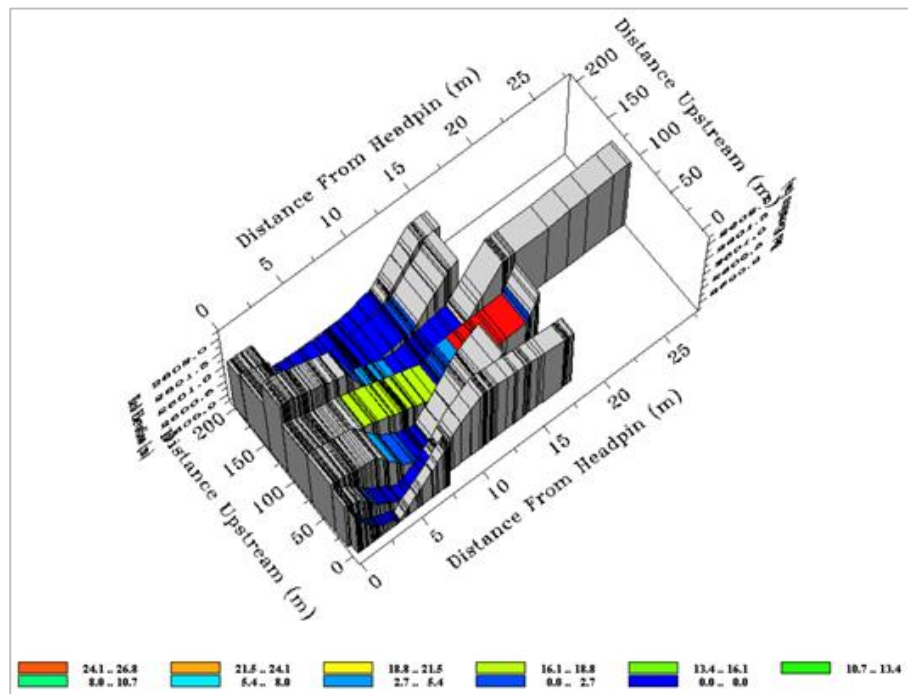


Figura 93 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 5 y para el caudal de $0.27 \text{ m}^3/\text{s} - 2\text{D}$.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Los resultados del comportamiento del hábitat disponible en el Modelo No. 5 con el caudal óptimo seleccionado, se presentan en la Figura 88 y Figura 89. Al igual que en el Modelo No. 4, en el presente Modelo, se observa que la mayoría de las secciones transversales poseen área de hábitat disponible en casi toda su configuración, sobre todo en las secciones más aguas arriba del tramo. Por ejemplo, en las secciones k1+277, k1+315 y k1+357 aunque el porcentaje de hábitat es bajo, variando entre 0.5 y 6.0% de WUA, se tiene área disponible en casi toda la sección, mientras que en la sección k1+255 se identifica área disponible en casi toda la sección con porcentajes mayores, alcanzando un máximo de 26.8% de WUA.

En la Figura 94 y Figura 95 se representa el tramo correspondiente al Modelo No. 6, con los resultados para el caudal óptimo de 0.27 m³/s.

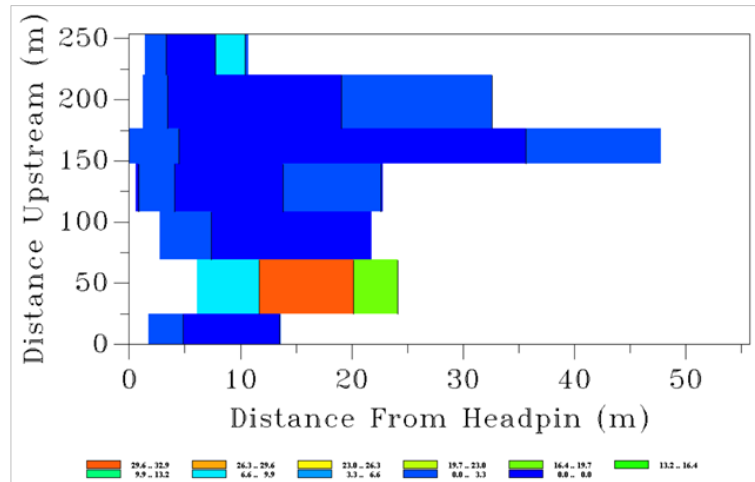


Figura 94 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 6 y para el caudal de 0.27 m³/s – 2D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

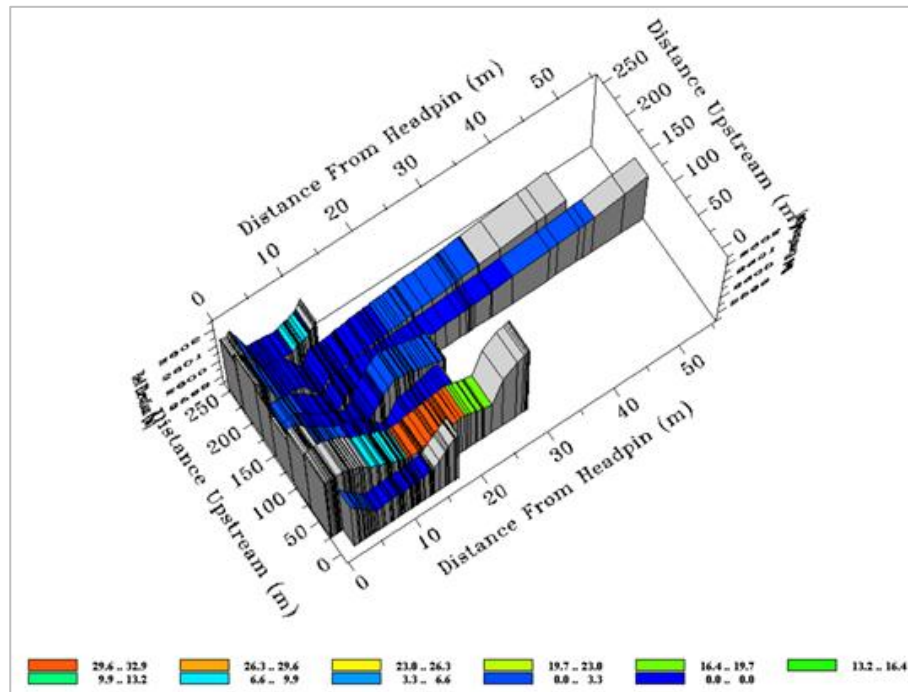


Figura 95 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 6 y para el caudal de 0.27 m³/s – 3D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Se observa para el modelo No. 6, que las secciones ubicadas más aguas arriba poseen área de hábitat disponible en toda la sección, mientras que, las secciones ubicadas aguas abajo, muestran hábitat disponible solamente en el centro de la sección o en la margen izquierda. Para este modelo se tiene un porcentaje máximo de WUA de 32.9% representado por el color naranja de la sección k1+459 y un porcentaje mínimo de 0.2% identificado por el color azul oscuro, presente en la mayoría de las secciones transversales.

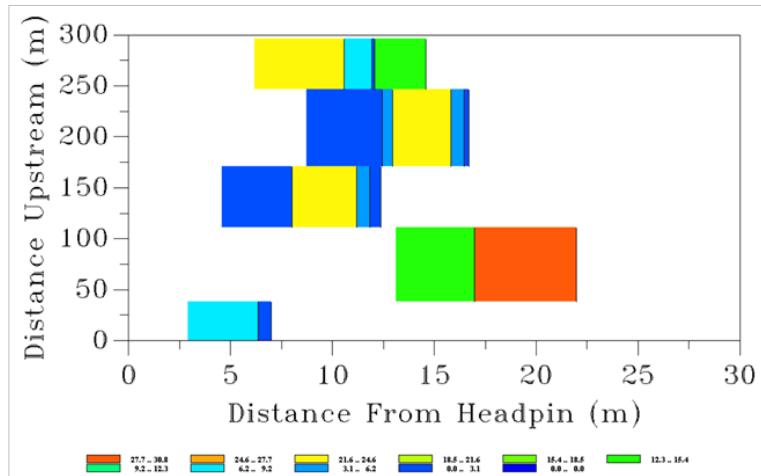


Figura 96 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 7 y para el caudal de 0.27 m³/s – 2D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

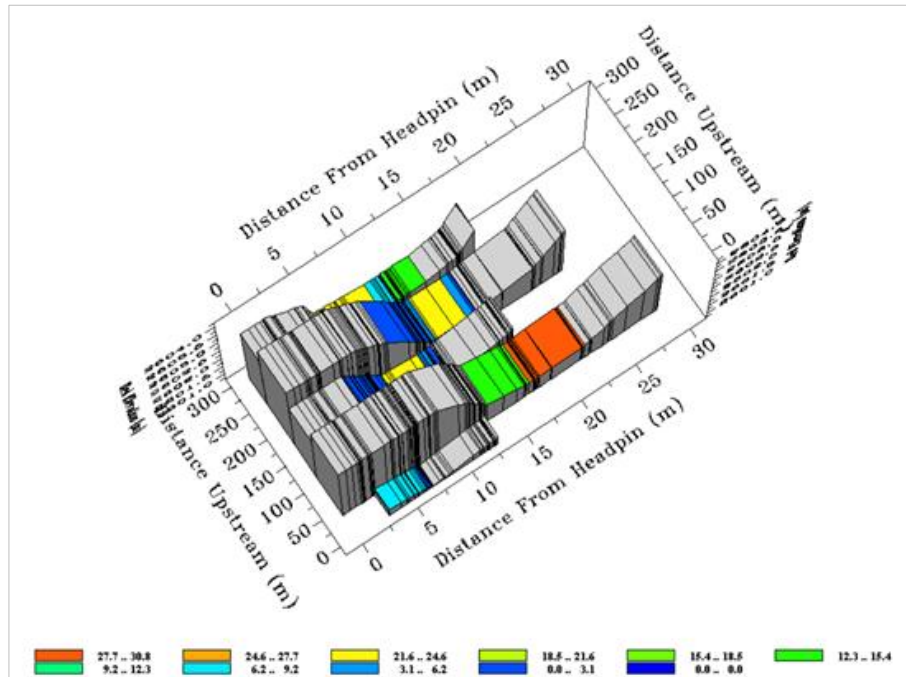


Figura 97 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 7 y para el caudal de 0.27 m³/s – 3D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Para el tramo correspondiente al Modelo No. 7, que se presenta en la Figura 96 y Figura 97 con los resultados para el caudal óptimo de 0.27 m³/s, se observa que la mayoría de las secciones tiene porcentajes medios y altos de hábitat disponible llegando a un máximo de 30.8% en la margen derecha de la sección k1+901, mientras que la sección ubicada aguas abajo tiene los porcentajes de hábitat disponible más bajo variando entre 0.01 y 14%.

A continuación, en la Figura 98 y Figura 99, se muestran los resultados del comportamiento del hábitat disponible en el Modelo No. 8 para el caudal óptimo seleccionado.

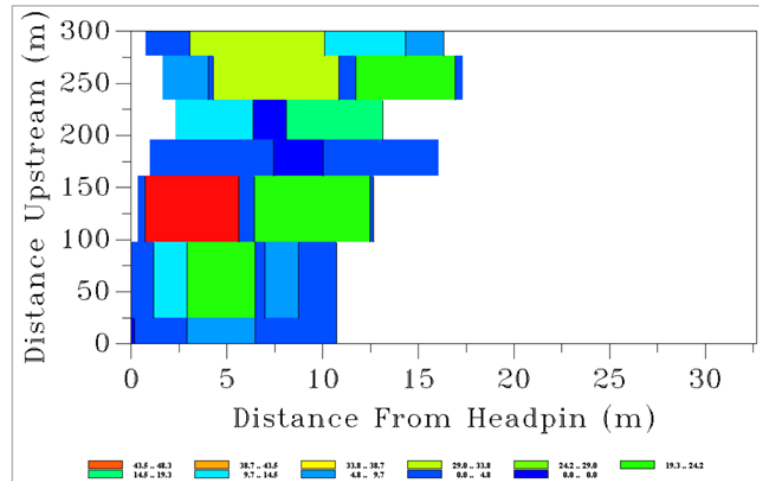


Figura 98 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 8 y para el caudal de 0.27 m³/s – 2D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

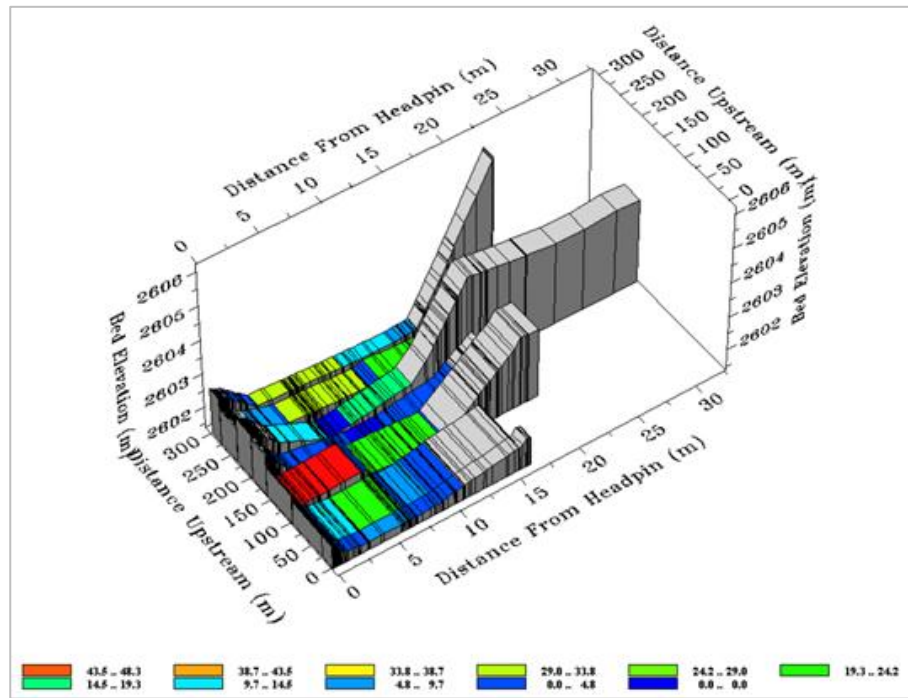


Figura 99 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 8 y para el caudal de 0.27 m³/s – 3D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Para el Modelo No. 8, se encuentra que todas las secciones presentan buenos resultados de porcentaje de hábitat disponible, es una de las mejores zonas donde se presenta el área de hábitat disponible, esto, debido a que, para este modelo el caudal óptimo corresponde al caudal seleccionado (0.27 m³/s), los porcentajes de WUA varían entre 0.11% en la sección k2+453 la cual posee los porcentajes más bajos (colores de tono azul) y 48.3% presente en la sección k2+298, las demás secciones, presentan un valor promedio de 30% de WUA aproximadamente.

En la Figura 100 y Figura 101 se representan los resultados del comportamiento del hábitat disponible en el Modelo No. 8 con el caudal óptimo seleccionado.

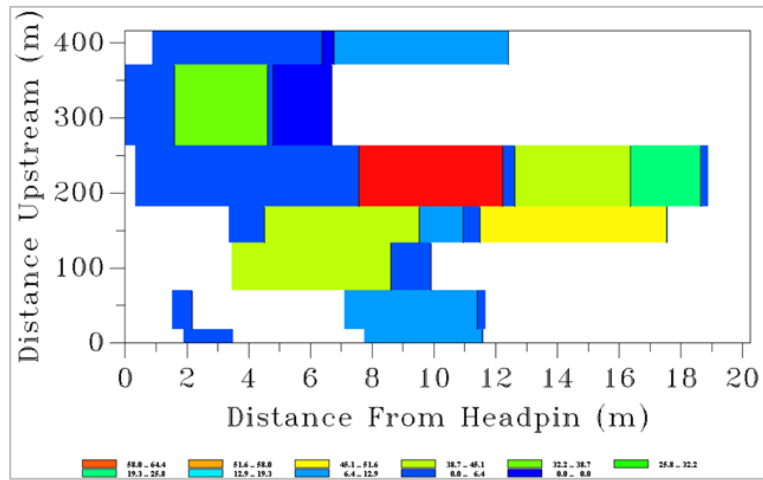


Figura 100 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 9 y para el caudal de 0.27 m³/s – 2D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

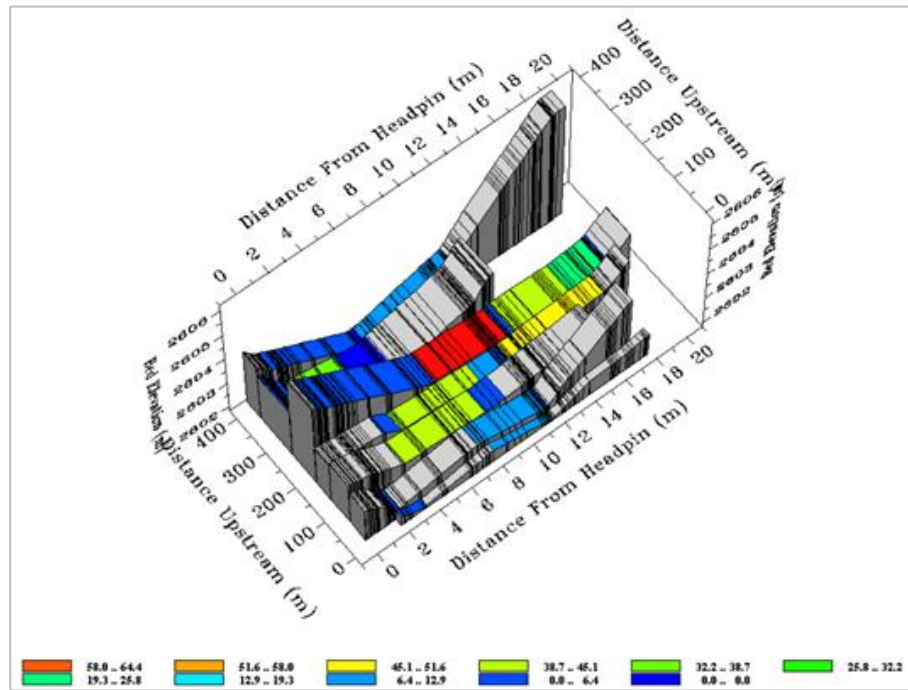


Figura 101 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 9 y para el caudal de 0.27 m³/s – 3D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Al igual que en el Modelo No. 8, el Modelo No. 9, presenta todas las secciones con buenos resultados de porcentaje de hábitat disponible, es una de las mejores zonas debido a que precisamente para este modelo el caudal óptimo corresponde al caudal seleccionado (0.27 m³/s), los porcentajes de WUA varían entre 1.0 % en la sección ubicada más aguas abajo del tramo (k2+545) la cual posee los porcentajes más bajos representados en colores de tono azul y 64.4% presente en la sección k2+748, las demás secciones presentan un valor promedio de 45% de WUA aproximadamente.

Finalmente en la Figura 102 y Figura 103 se presentan los resultados para el Modelo No. 10.

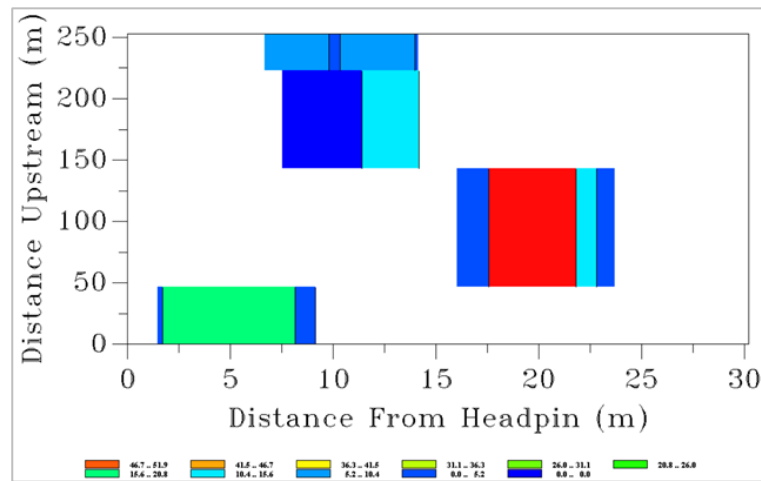


Figura 102 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 10 y para el caudal de 0.27 m³/s – 2D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

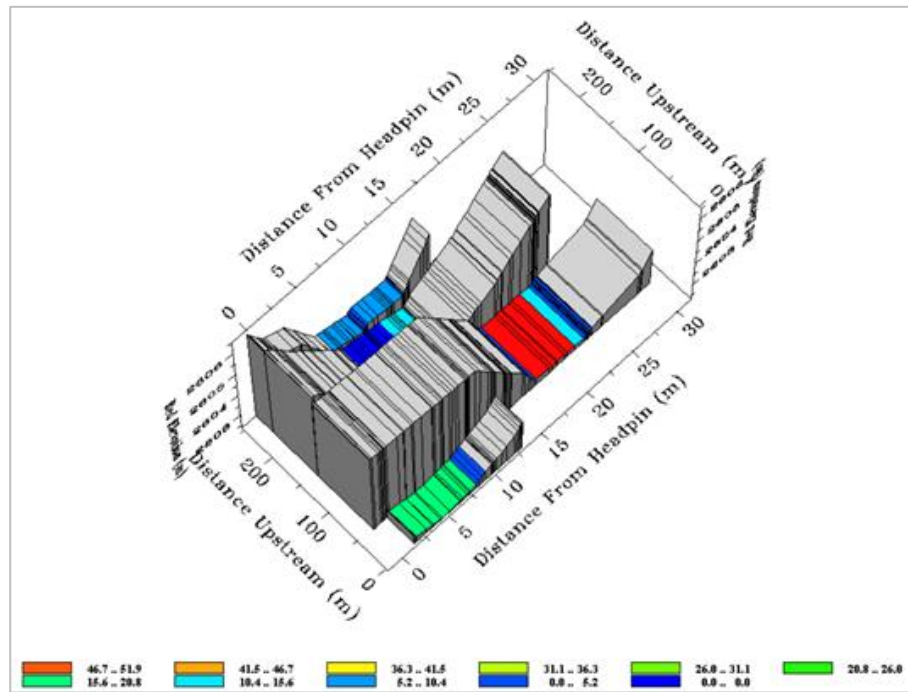


Figura 103 Resultados de WUA (%) para las secciones del Modelo No. 10 y para el caudal de 0.27 m³/s – 3D.

Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM

Para las secciones correspondientes al Modelo No. 10, se observa que el hábitat disponible se encuentra en el centro de las secciones. La sección k3+254 ubicada más aguas arriba, presenta los valores más bajos de hábitat disponible, los cuales varían entre 0.12 y 10.26% de WUA, mientras que, la sección que posee los valores más altos de hábitat disponible, es la sección k3+094 con valores que varían entre 0.38 y 51.99% de WUA.

De las gráficas de resultados presentadas, se puede concluir que en las secciones ubicadas hacia aguas abajo del tramo del río analizado (Modelos No. 1, 2, 3, 4 y 5) se cuenta con pocas zonas de hábitat disponible, y en el caso que se tenga porcentaje de hábitat, este se encuentra generalmente hacia la margen izquierda o el centro de la sección, así mismo, en las secciones ubicadas hacia aguas arriba, se obtiene más área de hábitat disponible, las secciones ubicadas en los modelos 5 a 10, según la preferencia de la especie, serían ideales para su desarrollo con un caudal óptimo seleccionado de 0.27 m³/s.

Capítulo 10. Conclusiones y Recomendaciones

A partir de las modelaciones y resultados obtenidos, se presentan las conclusiones finales y algunas recomendaciones a tener en cuenta acerca del uso de la metodología IFIM y el programa computacional PHABSIM.

- El presente trabajo se realizó con el fin de analizar el uso de la metodología IFIM y el programa computacional PHABSIM en el cálculo de caudales ambientales de ríos de montaña, en este caso, el tramo del río Sisga comprendido entre la descarga del embalse del Sisga hasta la desembocadura en el río Bogotá, permitió analizar las ventajas y desventajas de esta metodología que se usa desde hace varios años en diferentes países.
- El desarrollo del proyecto, permitió confirmar la definición de caudal ambiental como: “la cantidad de agua mínima requerida bajo condiciones óptimas de calidad, con las cuales se les garantiza a los ecosistemas la supervivencia de las especies sin afectar su entorno ni restringir el desarrollo de proyectos con los cuales se va a ver afectado el cuerpo de agua” como se presenta en el Numeral 3.1.
- Con la información de caudales medios mensuales de las estaciones La Iberia y Represa Sisga, se calcularon valores de caudal ambiental por medio de las metodologías, IDEAM, ENA, Q90 y Q95. Adicionalmente, para obtener valores óptimos de caudal, se llevó a cabo una variación porcentual de los caudales medios mensuales del punto de descarga del embalse presentados en la Tabla 11 y la Tabla 12 desde el 5% hasta el 40%, dando como resultados valores de caudales ambientales y óptimos usados en la modelación de PHABSIM, tal como se presentan a continuación:

METODOLOGÍA	CAUDALES AMBIENTALES- CONDICIÓN ANTES DE PROYECTO (ESTACIÓN LA IBERIA) (m ³ /s)	CAUDALES AMBIENTALES-CONDICIÓN DESPUÉS DE PROYECTO (ESTACIÓN REPRESA SISGA) (m ³ /s)
IDEAM	0.08	0.34
ENA	0.54	0.90
Q90	0.22	-
Q95	0.14	-

	%	CAUDALES ÓPTIMOS-CONDICIÓN ANTES DE PROYECTO (ESTACIÓN LA IBERIA) (m³/s)	CAUDALES ÓPTIMOS-CONDICIÓN DESPUÉS DE PROYECTO (ESTACIÓN REPRESA SISGA) (m³/s)
Variación porcentual	20	0.07	-
	30	0.11	-
	35	0.12	-
	40	0.14	-
	20	0.07	-
	30	0.10	-
	35	0.12	-
	40	0.13	-
	20	-	0.27
	30	-	0.41
	35	-	0.48
	40	-	0.55
	20	-	0.30
	30	-	0.45
	35	-	0.52
	40	-	0.60

- Con la información topográfica, secciones transversales del tramo de río analizado, curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae y los caudales ambientales y óptimos, se llevó a cabo la modelación en PHABSIM. Cabe resaltar que, debido a la baja capacidad de procesamiento del programa, el tramo del río Sisga fue dividido en 10 partes, cada una representando un modelo diferente.
- Uno de los problemas encontrados al usar el programa PHABSIM fue el número de puntos que componen las secciones transversales en la información inicial, se generaron errores en la modelación al mostrar las gráficas de los resultados, sobre todo, en 2D y 3D. Por tal razón, las secciones transversales fueron ajustadas con el fin de conformar secciones transversales por menor número de puntos, conservando las cotas de fondo y la forma de cada sección.
- Después de llevar a cabo las modelaciones de las láminas de agua en PHABSIM, se pudo observar que al usar la metodología MANSQ los resultados de lámina de agua son muy variables, presentando cambios bruscos de la pendiente hidráulica y en algunos casos, errores durante la modelación, lo cual hizo que los resultados fueran erróneos y poco confiables.
- Una de las razones por la cual se presenta tanta variabilidad en los resultados de la metodología MANSQ, es porque usa más parámetros que STGQ, la mayoría de estos medidos en campo, con los cuales MANSQ lleva a cabo la calibración del modelo. Para optimizar los resultados de MANSQ se deben realizar iteraciones de

los parámetros sin tener la certeza de cuándo se esté obteniendo los resultados más óptimos.

- En cuanto al uso de la metodología WSP, se requiere información tomada en campo convirtiendo cada punto de medición en una estación de aforo, por lo tanto, es necesario una mayor dedicación en el trabajo de campo y en el procesamiento de los datos obtenidos.
- Al llevar a cabo las modelaciones de las velocidades por medio de la metodología STGQ, se pudo observar que, a pesar de que esta información debe ser tomada preferiblemente en campo, con los valores iniciales ingresados, el modelo simuló de manera efectiva la velocidad para todos los caudales objeto de estudio, generando resultados congruentes y valores confiables para continuar con las modelaciones del hábitat.
- A pesar de que el programa PHABSIM tiene ciertas limitaciones, se pudo llevar a cabo las modelaciones con los datos iniciales, que fueron suficientes para obtener resultados útiles y confiables, permitiendo tomar las decisiones pertinentes acerca del caudal ambiental en el tramo del río Sisga analizado.
- Después de realizar las modelaciones en PHABSIM, y teniendo en cuenta la hidráulica de la zona y las curvas de preferencia del macroinvertebrado Chironomidae, se obtuvo que el caudal óptimo ambiental varía entre 0.14 y 0.60 m³/s, sin embargo, como se observa en la Tabla 18 y la Figura 76, el caudal que generó mejores resultados de hábitat fue el de 0.27 m³/s, siendo seleccionado como el caudal ambiental óptimo en general para el tramo de río analizado.
- El valor de caudal óptimo ambiental seleccionado (0.27 m³/s) fue calculado mediante la variación de los porcentajes de los caudales medios de la estación Represa Sisga, y según la curva de duración de caudales este valor de caudal se encuentra un 85% del tiempo, lo que significa que, el tramo del río analizado mantiene esa cantidad de agua la mayor parte del tiempo. Por otro lado, el caudal óptimo seleccionado es muy cercano al caudal ambiental calculado por medio de la metodología IDEAM para la estación Represa Sisga (0.34 m³/s), con una diferencia de 0.07 m³/s.
- Si se tienen en cuenta los valores de caudal ambiental calculados mediante la variación de los porcentajes de los caudales medios de la estación La Ibera, con la cual se simuló la zona antes de la construcción de la represa, el caudal óptimo

seleccionado es mayor a los valores de la estación, indicando, que la construcción del embalse del Sisga ha mejorado el régimen de caudales de la zona haciendo que la disponibilidad de hábitat físico para el macroinvertebrado Chironomidae aumente y genere mejores condiciones para su desarrollo.

- Al comparar el valor de hábitat disponible generado por el caudal de 0.27 m³/s (6134.08 m²/1000 m) y el valor del hábitat disponible generado por el caudal de 0.90 m³/s, calculado por medio de la metodología del ENA para la estación Represa Sisga, se observa, que el hábitat disponible para la especie disminuye, llegando a un valor de 5108.36 m²/1000 m, con una diferencia de 1025.72 m²/1000 m, esto, representa que la existencia de más agua, no significa que se tenga más área disponible.
- Al observar las gráficas 2D y 3D de cada uno de los modelos realizados, se asume que los tramos ubicados más hacia aguas abajo (desembocadura en el río Bogotá) son zonas en donde se obtiene menos área disponible, mientras que los tramos aguas arriba (descarga del embalse del Sisga) son las zonas en donde se presentan mejores condiciones y más área de hábitat disponible para el desarrollo del macroinvertebrado Chironomidae, ahora bien, la margen izquierda y el centro de las secciones transversales son las zonas donde se ubica el área disponible.
- El uso de la metodología IFIM fue adecuada para obtener el caudal ambiental que genere un área de hábitat disponible en ríos de montaña como en el presente estudio, los resultados obtenidos por medio de esta metodología, tuvieron en cuenta criterios hidráulicos y de hábitat, los cuales, al complementarse generan resultados confiables y acertados.
- Aunque la metodología IFIM resultó ser adecuada, los métodos de cálculo usados por el programa computacional PHABSIM no tanto, se presentan diferentes tipos de errores tales como, el no poder observar las gráficas de resultados en 2D y 3D cuando se modelan aproximadamente más de 8 secciones transversales compuestas por un gran número de puntos; fallas en algunos resultados de la modelación hidráulica, especialmente en los resultados de las láminas de agua.
- Se debe tener en cuenta que a pesar de que se haya seleccionado solo un valor de caudal ambiental óptimo, no se excluyen los valores de caudal óptimo de cada uno de los tramos analizados, ya que para estos valores, los resultados de área utilizable

ponderada son similares al alcanzado por el caudal de 0.27 m³/s (Ver Figura 77 a Figura 83), es así que, se estaría hablando de un régimen de caudales ambientales, rangos, que deben ser tenidos en cuenta en el momento de llevar a cabo alguna obra de intervención sobre el río.

- Con base en los resultados de hábitat, se tiene entonces que no es recomendable dejar caudales menores a 0.14 m³/s ya que el área de hábitat disponible se vería afectada, además, se debe realizar una buena regulación de caudales para que el caudal se puede mantener en 0.6 m³/s como máximo, debido a que valores mayores también reducen el área de hábitat disponible para el desarrollo del macroinvertebrado Chironomidae.
- Con los resultados obtenidos en el proyecto presentado, las partes interesadas pueden analizar alternativas de conservación de hábitat del macroinvertebrado Chironomidae, cumpliendo de esta manera, con una de las etapas y uno de los objetivos principales del uso de la metodología IFIM.
- Se debe tener en cuenta que la pendiente de los cuerpos de agua es un parámetro muy importante, sobre todo en los ríos de montaña, de éste parámetro dependen otros sensibles a la pendiente como la velocidad, la profundidad y el sustrato, los cuales, son parte fundamental del análisis de la preferencia de una especie y por ende parte fundamental en el análisis de los caudales ambientales óptimos usando la metodología IFIM.
- A pesar de que la construcción del embalse del Sisga mejoró las condiciones de hábitat para el desarrollo del macroinvertebrado Chironomidae, se debe tener en cuenta que con la construcción de esta obra el río Sisga perdió continuidad en su ecosistema, lo cual es un factor importante al evaluar las condiciones de las especies de la zona.
- Para la escogencia de un caudal ambiental, se recomienda hacer un análisis integral de la zona, ya que esta decisión depende de las necesidades de agua que tenga la comunidad y el ecosistema.
- Aunque los resultados obtenidos con el uso del programa PHABSIM fueron buenos y determinantes para la toma de decisiones en ríos de montaña, se recomienda llevar a cabo análisis de caudales ambientales con el uso de otros programas, ya que PHABSIM presenta algunas limitaciones y restricciones para realizar las

modelaciones, con el fin de tener algún punto de comparación de resultados de caudales ambientales y áreas de hábitat disponible para las especies cuando se realice la intervención en algún cauce.

- Se recomienda profundizar el tema de la información de preferencia de las especies en Colombia, ya que la falta de esta información en análisis de mayor escala, se puede convertir en obstáculo para el cálculo de caudales ecológicos y, por ende, las consecuencias que traería el desarrollo de proyectos sobre los ríos.

Capítulo 11. Bibliografía

- Aguilera, G. (s.f.). Recolección de Información de Campo para la Evaluación de Caudales Ecológicos en la Cuenca del Río Huasco (Chile). Argentina.
- Bastidas Gálvez, J. G., & Lemus Portillo, C. (2014). *Aporte al Conocimiento de la Biología y Ecología del Pez Capitán de la Sabana (Eremophilus Mutisii)*. Bogotá.
- Bonilla Lizarazo, R. J., Quintero Virguez, M., Gómez Ramírez, E., Rodríguez Caicedo, D., & Hurtado Giraldo, H. (2008). *Histología y morfometría de piel del pez Eremophilus mutisii (Trychomenteridae, Siluriformes)*. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.
- Cabra Soto, A. D., & Corradine Moyano, M. F. (2014). *Estimación del Caudal Ecológico por los Métodos 7Q10, Q95 y los Factores de Reducción del 25% en el Río Ocoa, a partir de la Generación de Caudales Diarios Utilizando el Modelo Agrefado de Tanques*. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia.
- Cardona Duque, W. (2012). *Curvas de Idoneidad de Hábitat para Macroinvertebrados Bentónicos: una Herramienta para la Estimación de Caudales Ambientales*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Consuegra Martínez, C. (2013). *Síntesis Metodológica para la Obtención de Caudales Ecológicos (Qe), Resultados y Posibles Consecuencias*. Bogotá D.C.
- Cortolima; Corpoica; SENA; Universidad del Tolima. (s.f.). *Proyecto Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Mayor del Río Coello*. Tolima.
- Diez Hernández, J. M., & Ruiz Cobo, D. H. (2007). *Determinación de caudales ambientales confiables en Colombia: el ejemplo del río Palacé (Cauca)*.
- Espinoza, C., Vargas, X., & Pardo, M. (2001). *Metodología Incremental par la Asignación de Caudales Mínimos Aconsejables, IFIM*. Chile: Universidad de Chile.
- FAO. (1980). *Cuencas Fluviales*.

- FAO. (2001). *El Uso de Computadoras, Programas e Instrumentos Electrónicos en la Planificación y Seguimiento de Planes de Manejo del Bosque Húmedo Tropical - Un Caso en Costa Rica*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/003/x8763s/x8763s00.HTM>
- Galvis Martin, D. X. (2008). *Estimación de la Generación de Sedimentos en la Cuenca Hidrográfica del Río Sisga con base en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo*. Bogotá D.C.
- García Rivera, J. (2013). *Análisis Comparativo de Modelos Ecohidráulicos 1D y 2D para la Evaluación de Caudal Ecológico*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Gobierno de España; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2009). *Guía de Campo, Macroinvertebrados de la Cuenca Ebro*. Zaragoza.
- Gómez Cortés, D. A., & Mosquera Cordoba, E. D. (2010). *Análisis de Sensibilidad Paramétrica para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos Mediante el Software PHABSIM*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (s.f.). Recuperado el 26 de Marzo de 2016, de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/hidrologia>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua, ENA*. Bogotá, D.C.
- López Peralta, R. H., & Talero Martín, G. M. (2014). *Densidad Larval del Chironomidae (Insecta: Diptera) en un Meandro del Río Bogotá (Cajicá, Colombia) durante la Niña 2011*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Maldonado Ocampo, J., Ortega Lara, A., Usma Oviedo, J. S., Galvis Vergara, G., Villa Navarro, F. A., Vásquez Gamboa, L., . . . Ardila Rodríguez, C. (2005). *Peces de los Andes de Colombia, Guía de Campo*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Mayo Rustarazo, M. (2000). *Determinación de Regímenes de Caudales Ecológicos Mínimos. Adaptación del Método IFIM-PHABSIM y Aplicación a los Ríos Españoles*. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Millous, R., & Waddle, T. (2012). Physical Habitat Simulation (PHABSIM) Software for Windows (v.1.5.1). *USGS Science for a Changing World*. Obtenido de <https://www.fort.usgs.gov/publication/22800>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2013). *Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (22 de Junio de 2007). Decreto 2115 de 22 de junio de 2007. Bogotá D.C., Colombia.
- Monsalve Sáenz, G. (2006). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá, D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ocampo López, O. L. (2012). *Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química.
- Parra Rodríguez, E. (2012). *Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño*. Bogotá, D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero Rojas, J. A. (2009). *Calidad del Agua*. Bogotá, D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sanabria Suárez, D. (2006). *Macroinvertebrados Acuáticos, Determinación Taxonómica, Conteo*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá.

UNAL, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *Metodología para la Estimación de Caudal Ambiental en Proyectos Licenciados*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

Universidad de Chile. (1998). *Análisis de Criterios Hidroambientales en el Manejo de Recursos Hídricos. Diseño de Plan de Monitoreo para la Determinación de Caudales Ecológicos*. Santiago de Chile.

USGS, S. f. (Noviembre de 2001). PHABSIM for Windows. User's Manual and Exercises.

Zuluaga Machado, J. (14 de Agosto de 2012). Estudio de identificación del potencial energético del Río Ituango a partir de un aprovechamiento hidroeléctrico. Medellín, Colombia.

Anexos

Anexo 1 – Información Climatológica CAR e IDEAM

Información de precipitación mensual suministrada por la CAR

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)
ESTACIÓN : 2120539 REPRESA SISGA

Latitud	X=N=1054000	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	EMB. SISGA	Categoría	CO						
Longitud	Y=E=1038500	Municipio	CHOCONTA	Cuenca	EMB. SISGA	Fecha Instalación	12/01/1952						
Elevación	2675 m.s.n.m	Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión							
ANO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1919	177.6	20.5	101.6	182.5	145.7	81.0	225.9	163.7	35.0	98.1	46.3	41.2	1319.1
1939											75.6	19.3	94.9
1940	9.9	27.5	16.5	55.2	99.6	121.8	118.9	105.6	33.8	111.2	60.7	60.4	821.1
1941	19.2	8.1	51.6	54.4	143.8	74.2	150.6	98.5	22.3	171.0	63.1	17.0	873.8
1942	8.5	34.3	82.4	63.7	210.8	154.0	88.3	100.6	37.3	101.1	140.6	10.3	1031.9
1943	177.6	20.5	101.6	182.5	145.7	81.0	225.9	163.7	35.0	98.1	46.3	41.2	1319.1
1944	33.7	8.0	43.8	110.6	165.6	128.4	96.8	129.6	30.7	29.1	66.9	14.6	857.8
1945	28.7	0.9	0.5	142.7	190.2	90.4	104.6	88.7	41.5	53.2	52.4	20.6	814.4
1946	24.4	15.0	61.7	36.0	34.6	164.0	121.0	133.9	23.3	14.4	37.7	18.5	684.5
1947	36.8	9.7	3.7	41.2	69.5	101.3	127.2	72.6	35.7	77.3	7.4		582.4
1948	11.0	19.2	22.9	127.1	63.5	35.2	50.5	33.1	94.4	29.3	91.5	24.0	601.7
1949	103.5	35.1	46.0	111.9	93.4	88.9	76.8	68.0	47.1	68.5	52.9	21.9	814.0
1950	75.5	30.1	36.6	26.5	103.5	61.5	82.8	48.9	54.0	109.9	48.8	0.0	678.1
1951			28.5	55.6	51.0	86.0	138.0	48.6	29.8				437.5
1952	19.3	18.0	3.4	17.5	54.3	87.8	104.5	101.9	30.1	67.3	82.6	19.2	605.9
1953	12.6	16.2	41.3	76.8	126.6	124.7	111.0	98.7	83.6	88.6	45.9	11.6	837.6
1954	9.2	38.7	27.1	122.3	138.8	108.8	141.2	74.4	33.0	219.3	57.6	21.5	991.9
1955	64.3	25.3	165.6	87.6	72.2	55.0	134.3	51.7	103.9	93.9	100.1		953.9
1956	20.3	25.6	77.0	32.3	68.9	114.9	82.5	104.2	80.7	131.3	55.6	53.2	846.5
1957	0.0	7.6	53.8	75.3	179.4	104.8	103.7	106.5	46.5	95.3	21.9	9.5	804.3
1958	8.5	8.3	71.8	36.8		81.9	108.8	78.1	27.5	36.5	47.5	14.2	519.9
1959	3.0	13.3	36.1			86.5		104.3	68.7	85.6		22.6	420.1
1960	17.5	22.5	60.0	93.3	91.8	69.9	101.8	97.7	81.5	79.2	27.2	69.3	811.7
1961	27.9	0.0	52.6	75.5	34.2	140.9	86.0	84.4	50.7	120.5	118.2	4.7	795.6
1962	5.7	17.8	56.4	38.2	136.5	122.2	131.6	74.7	56.8	102.9	79.6	18.5	840.9
1963	2.2	44.3	14.2	102.4	128.5	100.0	115.8	94.7	58.2	74.9	128.4	11.1	874.7
1964	0.0	4.3	1.2	85.0	153.5	112.3	102.7	55.6	56.3	60.7	32.4	40.9	704.9
1965	33.9	9.8	24.7	169.7	143.4	101.1	161.1	118.6	52.9	98.6	69.6	20.0	1003.4
1966	2.9	6.6	107.8	50.6	67.9	119.1	90.6						445.5
1981	0.0	27.7	23.1	166.1	190.6	52.8	57.2	52.0	95.0	132.0	56.0	18.0	870.5
1982	34.0	16.0	104.0	176.0	113.0	86.0	151.0	150.0	70.0	70.0	37.0	23.5	1030.5
2007									66.7	161.7	51.9	39.0	319.3
2008	53.2	13.7	32.6	35.0	109.2	141.3	116.8	81.2					583.0
MEDIOS	34.0	18.2	50.0	87.7	114.7	99.3	116.9	92.8	52.7	92.4	62.1	24.5	845.3
MÁXIMOS	177.6	44.3	165.6	182.5	210.8	164.0	225.9	163.7	103.9	219.3	140.6	69.3	225.9
MÍNIMOS	0.0	0.0	0.5	17.5	34.2	35.2	50.5	33.1	22.3	14.4	7.4	0.0	0.0

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)
ESTACIÓN : 2120659 REPRESA SISGA

Latitud	X=N=1053627	Departamento	CUNDINAMARCA		Corriente	EMB. SISGA	Categoría	CO					
Longitud	Y=E=1038324	Municipio	CHOCONTA		Cuenca	EMB. SISGA	Fecha Instalación	12/01/1952					
Elevación	2675 m.s.n.m	Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA				Fecha Suspensión						
AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1995	15.5	13	64.4	92.2	92.4	111.5	98.1	78.1	52.9	63.5	36.2	74.8	792.6
1996	54	60	103	49.5	123.6	107.4	181.8	151	83.8	119	61.3	44.8	1139.2
1997	67.8	34.6	64.2	54.7	90.5	147.6	263.6	123.9	40	63.5	30	15.2	995.6
1998		4.3	77.2	43.3	190.2	108.9	111.8	49.5	52.6	49.1	38.9	36.4	762.2
1999	17.5	56	100.3	107.2	86.3	85.4	94.8	75.7	153.2	159	73.2	40	1048.6
2000	48.2	41.4	111.8	45	125.8	101	134.8	169.8	118	103.1	69	43.5	1111.4
2001	1	49.7	55.4	19.9	95.4	105.7	85.7	171.7	115.2	41	53.2	21.1	815
2002	4.4	14.6	90.8	106.4	90.4	179.5	99.9	179.6	72.8	60.5	50.5	19	968.4
2003												0	0
2004	27.5	41	29.8	136.3	169.6	248	121.5	166.8	80.5	136.1	50.5	71.5	1279.1
2005	26.7	37.5	22.5	113	171.2	106	119.1	148.2	148.8	108.3	134.1	4.5	1139.9
2006	25.4	10	106.1	207	138.1	223.8	136.2	112.6	71.2	125.8	61.6	13.5	1231.3
2007	0	19	35.5	89.3	77.6	167.8	65	155.8	66.7	161.7	53.9	39	931.3
2008	53.2	15.7	27.6	46	96.6	140.2	113.4	80	87.3	49.9	171.3	28.3	909.5
2009	43	30.8	46	52.3	76	108.8	133.8	99.9	68.7	75	33.5	2.8	770.6
2010	0.5	25.8	24.1	170.8	112.5	85.6	120.6	71.8	48.6	192.2	93.2	66.6	1012.3
2011	4.5	56.4	104.2	225.6	194	126.7	121.2	77.8	96.8	147	136.3	22.5	1313
2012	27.1	27.6	91	240.7	86.3	134.5	167.4	94.6	63.5	105.6	40	34.7	1113
2013	0.1	22.3	66.6	100.1	141.7	49.6	139	96.1	57.2	51.8	138.8	23.1	886.4
2014	7.7	39.9	52.6	68.1	102.2	162.0	164.0						596.5
MEDIOS	23.6	31.6	67.0	103.5	119.0	131.6	130.1	116.8	82.1	100.7	73.6	31.6	1011.2
MÁXIMOS	67.8	60.0	111.8	240.7	194.0	248.0	263.6	179.6	153.2	192.2	171.3	74.8	263.6
MÍNIMOS	0.0	4.3	22.5	19.9	76.0	49.6	65.0	49.5	40.0	41.0	30.0	0.0	0.0

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)
ESTACIÓN : 2120027 SAUCIO

Latitud	X=N=1057200	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	R. BOGOTÁ	Categoría	PG						
Longitud	Y=E=1039700	Municipio	CHOCONTA	Cuenca	R. BOGOTÁ	Fecha Instalación	6/01/1947						
Elevación	2670 m.s.n.m	Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión							
ANO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1955	49.0	3.0	25.0	38.0	22.0	38.5	110.0	44.0	113.0	67.0	79.0	34.0	622.5
1956	13.0	9.0	71.0	41.2	72.9	160.2	109.8	100.8	68.6	86.5	34.5	40.0	807.5
1957	7.5	6.0	42.0	52.6	186.9	130.6	135.8	112.6	49.9	72.0	5.2	16.0	817.1
1958	2.6	3.5	60.4	35.8	73.5	104.0	166.8	134.1	25.7	31.2	37.0	16.0	690.6
1959	1.0	9.0	30.0	34.5	89.0	84.2	180.0	69.1	63.3	72.5	39.7	23.7	696.0
1960		12.5	31.0	52.0	70.0	85.0	97.2	150.0	75.5	55.5	11.2	47.0	686.9
1961	17.5	0.0	59.0	70.8	38.0	197.0	105.0	87.5	48.5	122.0	89.0	3.0	837.3
1962	2.0	21.0	44.5	31.0	127.0	137.0	176.0	64.0	52.0	93.0	56.5	21.0	825.0
1963	0.0	52.5	8.0	97.0	155.0	108.0	154.0	130.0	53.5	32.0	92.5	14.0	896.5
1964	0.0	0.0	2.0	62.0	144.5	99.0	127.0	56.0	57.0	47.0	37.5	11.0	643.0
1965	29.0	12.0	25.0	134.0	165.0	114.5	230.5	135.6	49.5	107.0	72.0	24.5	1098.6
1966	3.0	13.0	78.0	24.0	35.0	90.0	83.5	58.5	53.9	43.9	127.5	66.3	676.6
1967	26.5	0.0	47.5	104.0	64.0	160.5	118.0	185.5	49.5	34.5	75.5	38.5	904.0
1968	18.0	42.0	23.5	134.5	51.0	137.5	243.5	89.0	64.0	77.5	37.5	8.5	926.5
1969	36.0	11.5	5.0	118.7	86.0	67.5	135.0	79.0	17.0	149.0	65.0	36.0	805.7
1970	79.5	48.0	20.0	66.0	97.0	142.0	132.0	57.0	101.0	84.0	27.0	15.0	868.5
1971	32.0	23.0	50.0	109.0	122.0	112.0	131.0	59.0	46.0	14.3	38.9	40.2	777.4
1972	76.7	4.8	57.7	182.5	116.7	167.6	209.0	79.0	78.0	34.0	59.5	9.0	1074.5
1973	3.0	18.0	2.0	64.0	75.0	89.5	106.6	151.2	97.0	76.0	61.8	16.8	760.9
1974	8.0	16.5	87.5	85.0	62.5	62.0	122.0	64.0	46.5	30.0	70.0	12.0	666.0
1978							31.5	95.7	54.2	48.7	12.2	10.0	252.3
1979	7.4	21.7	65.1	91.8	14.5	30.6	4.4	0.2					235.7
1980		39.0	42.0	14.0	88.0	154.0	74.0	98.0	157.0	38.0	15.0	0.0	719.0
1981	0.0	29.0	16.0	100.0	160.0	87.0	55.0	58.0	54.0	90.0	67.0	25.0	741.0
1982	18.0	21.0	69.0	161.0	112.0	90.7	146.0	147.0	64.0	66.0	43.0	17.0	954.7
1987	30.0	44.0	8.5	80.0	147.0	136.0	176.0	106.5	72.5	106.0	61.0	47.0	1014.5
1988	5.0	37.0	16.0	89.0	67.0	85.0	128.0	26.0	43.0	86.0	82.1	40.0	704.1
1991	13.5	30.2	99.8	39.0	41.9	64.9	115.8	81.9	11.4	29.1	21.8	17.0	566.3
1992	12.2	25.4	15.3	80.4	49.9	74.0	98.5	92.4	69.1	33.8	86.0	11.0	648.0
1993	25.9	11.0	69.1	31.8	50.7	32.7	106.2	50.7		41.8	71.5	9.4	500.8
1994	32.9	14.6	46.8	63.4	108.5	65.2	24.3	116.3	85.6	122.1	78.6	15.4	773.7
1995	15.5	6.5	46.7	45.8	15.3				9.9	34.1	34.8	49.3	257.9
1996									54.2	74.3	37.0	35.6	201.1
1997	47.3	29.0	34.1	32.8	70.0	111.0	219.5	82.4	29.3	68.3	33.9	11.8	769.4
1998	1.6	11.8	78.1	27.0	138.4	57.1	147.7	48.0	31.0	47.1	33.9	113.5	735.2
1999	21.3	37.5	44.7	92.5	54.6	69.9	60.1	45.3	112.2	122.4	56.1	29.5	746.1
2000	44.2	37.3	90.3	39.9	107.7	72.0	113.8	133.1	106.2	81.8	55.2	27.3	908.8
2001	1.1	60.9	26.5	37.0	89.4	117.1	79.9	141.2	45.0	11.6	63.3	40.9	713.9
2002	13.0	4.4	0.0	103.6	128.9	35.0	136.1	198.6	45.7	37.9	36.5	10.6	750.3
2003	0.4	4.4	8.2	6.8	10.8	0.0	149.5	60.5	46.2	59.4	13.3	20.2	379.7
2006	15.3	6.4	50.7	122.3	100.8	175.7	107.2	36.9	39.7	108.2	0.8	17.0	781.0
2007	1.2	22.7	17.3	62.6	76.2	144.8	52.0	86.0	39.9	99.3	51.7	35.6	689.3
2008	22.8	14.3	33.0	31.0	104.6	125.4	110.4	91.8	67.4	78.1	128.4	26.4	833.6
2009	37.3	24.4	54.4	60.6	52.3	80.6	132.8	99.3	43.8	81.7	7.4	7.6	682.2
2010	1.5	25.3	29.5	127.4	106.9	97.9	108.8	56.0	41.4	143.0	78.5	38.7	854.9
2011	7.1	38.1	134.6	192.4	184.4	107.1	112.3	67.4	83.7	109.9	105.8	7.7	1150.5
2012	20.6	30.2	94.7	232.6	73.3	123.8	180.9	93.1	57.7	78.3	54.8	38.3	1078.3
2013	0.0	26.1	74.6	91.0	124.1	57.8	137.8	101.9	52.1	52.3	114.1	23.1	854.9
2014	11.5	35.6	44.6	64.8	73.7	170.0	177.8						578.0
MEDIOS	18.0	21.1	44.2	77.8	89.4	101.1	124.7	89.6	59.3	69.7	54.5	25.9	775.4
MÁXIMOS	79.5	60.9	134.6	232.6	186.9	197.0	243.5	198.6	157.0	149.0	128.4	113.5	243.5
MÍNIMOS	0.0	0.0	0.0	6.8	10.8	0.0	4.4	0.2	9.9	11.6	0.8	0.0	0.0

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)
ESTACIÓN : 2120548 IBERIA LA

Latitud	X=N=1048900	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	EMB. SISGA	Categoría	CP						
Longitud	Y=E=1038800	Municipio	CHOCONTA	Cuenca	EMB. SISGA	Fecha Instalación	8/01/1955						
Elevación	2760 m.s.n.m	Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión							
ANO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1955											61.9	27.5	89.4
1956	30.7	29.6	93.4	45.3	86.5	180.4	114.9	143.9	141.5	135.2	82.4	79.0	1162.8
1957	0.4	27.6	73.8	96.8	178.4	94.6	120.6	75.7	88.1	111.9	69.0	11.7	948.6
1958	4.4	4.6	49.5	45.4	72.6	76.6	107.6	96.6	41.8	33.4	34.8	28.1	595.4
1959	6.3	11.5	30.9	35.6	88.2	104.0	192.0	127.1	98.5	97.3	69.6	22.5	883.5
1960	17.1	25.4	54.2	63.8	69.6	73.7	116.5	71.0	76.8	69.0	31.4	74.8	743.3
1961	8.4	0.4	46.4	96.2	36.0	167.8	75.6	93.2	50.2	104.7	96.2	12.0	787.1
1962	12.7	28.6	48.7	40.6	138.9	140.4	139.6	102.8	55.2	93.5	82.9	33.4	917.3
1963	5.9	32.0	4.2	125.6	198.6	92.2	112.9	103.5	60.4	51.0	110.8	12.8	909.9
1964	0.0	5.6	7.7	107.0	143.8	99.6	86.4	54.0	55.6	62.4	42.2	34.6	698.9
1965	28.2	8.0	24.7	143.0	141.4	75.6	164.1	129.8	39.4	62.9	77.8	12.8	907.7
1966	5.8	6.4	94.6	41.0	36.2	77.6	89.5	84.3	40.2	62.9	132.9	54.1	725.5
1967	18.5	2.8	78.0	130.9	93.7	141.9	89.0	143.2	60.7	71.6	60.3	31.0	921.6
1968	17.6	15.7	26.1	201.0	59.0	158.6	170.9	82.2	51.3	69.6	44.9	13.1	910.0
1969	67.8	18.1	9.1	131.0	101.5	72.0	109.5	61.2	47.1	172.7	75.0	21.0	886.0
1970	44.5	32.2	35.6	67.0	110.0	136.4	110.8	64.2	102.2	89.2	55.7	14.5	862.3
1971	22.2	23.9	51.9	90.2	114.7	104.7	132.3	90.8	53.8	23.2	44.4	41.1	793.2
1972	59.8	12.7	35.9	142.1	163.7	161.5	114.0	71.0	59.0	40.0	40.0	6.0	905.7
1973	2.0	41.0	1.0	82.0	85.0	85.0	114.0	112.0	97.0	53.0	126.0	31.0	829.0
1974	28.0	36.0	91.0	90.0	80.0	71.0	110.0	90.0	52.0	67.0	41.0	2.0	758.0
1975	17.0	13.2	43.0	57.9	95.0	155.0	22.0	86.0	84.0	112.0	42.0	101.0	828.1
1976	10.0	25.0	101.0	138.0	105.0	254.0	198.1	74.2	87.5	67.2	52.7	18.0	1130.7
1977	7.9	15.1	20.1	85.9	45.1	73.5	130.0	106.3	86.2	26.1	58.6	15.9	670.7
1978	0.3	19.0	34.0	109.1	73.0	160.2	95.0	108.1	98.4	94.0	14.5	47.5	853.1
1979	13.4	40.7	44.7	22.9	88.9	120.7	60.1	104.0	32.3	132.3	43.6	76.0	779.6
1980		0.0	16.4	87.1	75.8	162.3	94.4	89.8	61.2	68.4	27.1	23.6	706.1
1981	0.0	22.4	10.6	185.5	184.3	81.9	71.0	58.6	70.5	94.5	71.1	16.7	867.1
1982	37.4	23.6	65.2	214.9	99.3	78.4	89.3	106.8	65.2	43.8	36.8	25.1	885.8
1983	21.3	49.2	45.4	118.4	67.3	84.6	118.3	62.4	51.9	66.3	8.9	12.8	706.8
1984	17.7	25.3	45.9	53.7	68.3	109.0	55.3	99.1		20.0	93.5	10.5	598.3
1985	6.9	21.1	43.2	38.2	100.8	106.4	85.4	66.6	101.4	97.1	96.4	34.6	798.1
1986	10.1	78.8	50.5	64.7	77.6	161.5	105.9	48.4	56.8	184.0	59.0	12.7	910.0
1987	23.9	31.5	16.8	75.4	107.3	76.8	140.6	66.9	62.7	74.9	59.7	32.9	769.4
1988	0.9	7.8	16.1	59.4	98.3	92.9	117.6	65.6	106.7	85.7	80.2	47.8	779.0
1989	4.2	57.2	82.6	88.9	150.0	98.1	119.0	56.4	49.7	44.7	39.9	27.1	817.8
1990	9.5	46.9	59.0	114.0	142.6	102.7	85.1	93.4	37.4	126.6	46.4	50.8	914.4
1991	32.9	14.3	106.2	69.0	64.1	59.0	159.0	118.1	37.8	85.7	69.7	33.8	849.6
1992	5.9	31.2	31.9	62.3	55.6	72.9	119.6	79.7	79.2	24.7	113.4	24.2	700.6
1993	30.4	14.6	45.9	91.7	105.2	133.3	125.0	61.1	60.5	39.2	48.0	3.4	758.3
1994	13.7	12.2	35.3	58.8	134.9	87.9	106.4	133.3	94.3	100.7	69.0	16.2	862.7
1995	8.8	4.8	69.8	58.1	92.0	84.8	73.8	95.0	32.7	61.9	36.1	43.3	661.1
1996	33.1	52.2	119.3	45.4	115.4	73.6	138.0	102.5	48.1	92.6	50.1	33.6	903.9
1997	48.9	24.0	15.5	54.3	58.8	53.3	146.6	93.1	24.0	47.1	26.6	9.3	601.5
1998	4.1	12.0	52.8	69.6	147.6	112.8	152.6	52.8	60.7	46.5	81.2	59.5	852.2
1999	33.0	65.0	96.1	105.6	66.5	95.9	69.0	49.0	107.5	116.4	57.1	28.8	889.9
2000	37.7	40.9	91.5	39.3	112.2	91.8	96.6	151.2	87.2	98.6	47.6	42.7	937.3
2001	0.3	24.8	52.9	23.9	90.7	89.4	93.6	80.3	6.0	0.4	54.8	22.4	539.5
2002	8.7	17.3	65.7	84.5	88.9	99.4	68.0	140.0	49.3	42.6	32.3	11.0	707.7
2003	3.3	45.6	79.0	67.7	83.9	55.0	81.0	91.0	70.0	110.0	17.0	56.0	759.5
2004	26.0	43.0	60.0	171.0	129.0	219.0	121.0	130.0	83.0	101.0	47.0	60.0	1190.0
2005	38.0	37.0	19.0	90.0	160.0	76.0	87.0	77.9	67.5	59.0	97.3	2.5	811.2
2006	0.0	2.0	89.0	121.0	126.0	174.0		0.0	47.0	112.0	67.0	17.0	755.0
2007	0.0	60.0	47.0		88.1	82.1	54.6	64.1	66.3	122.1	41.9	16.9	643.1
2008	55.7	33.0	40.3	43.4	102.5	144.4	132.7	54.9	52.3	66.5	81.4	15.0	822.1
2009	27.6	30.4	35.9	47.0	31.1	53.0				0.0	25.0	2.0	252.0
2010	0.0	26.0	31.2	150.3	69.5	115.0	121.7	95.0	77.0	67.2	41.2	19.3	813.4
2011	9.0	56.0	70.9	207.3	85.7	49.5	76.1	68.0	107.3	113.2	162.1	19.0	1024.1
2012	47.6	11.2	83.4	250.0	77.8	114.6	176.1	108.5	60.3	119.7	57.8	20.5	1127.5
2013	4.0	29.0	74.0	127.0	181.0	39.0	144.0	122.0	38.8	56.0	140.0	44.0	998.8

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)
ESTACIÓN : 2120548 IBERIA LA

Latitud	X=N=1048900	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	EMB. SISGA	Categoría	CP
Longitud	Y=E=1038800	Municipio	CHOCONTA	Cuenca	EMB. SISGA	Fecha Instalación	8/01/1955
Elevación	2760 m.s.n.m	Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión	

AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
2014	7.0	18.4	98.6	63.6	77.0	137.0	115.1						516.7
MEDIOS	17.9	26.2	51.9	92.9	100.3	107.5	110.8	88.7	65.7	77.4	62.3	29.1	830.7
MÁXIMOS	67.8	78.8	119.3	250.0	198.6	254.0	198.1	151.2	141.5	184.0	162.1	101.0	254.0
MÍNIMOS	0.0	0.0	1.0	22.9	31.1	39.0	22.0	0.0	6.0	0.0	8.9	2.0	0.0

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)
ESTACIÓN : 2120096 CONSUELO EL

Latitud	X=N=1043500	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	EMB. TOMINÉ	Categoría	PM						
Longitud	Y=E=1032500	Municipio	SESQUILE	Cuenca	EMB. TOMINÉ	Fecha Instalación	3/01/1967						
Elevación	2960 m.s.n.m	Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión							
AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1967			74.6	158.0	97.2	158.4	72.0	136.3	39.7	87.4	78.5	54.0	956.1
1968	21.3	35.0	19.6	71.4	76.8	56.6	90.2	42.4	62.7	106.0	50.6	23.1	655.7
1969	28.9	13.9	13.4	125.3	90.6	89.9	74.9	80.7	45.3	163.0	66.1	24.4	816.4
1970	32.0	36.4	39.5	57.7	106.7	108.5	95.4	59.0	91.0	141.4	77.4	6.3	851.3
1971	28.4	38.1	86.4	97.9	149.6	80.3	87.1	105.0	40.2	77.6	62.3	50.2	903.1
1972	60.0	24.7	67.2	223.8	103.2	122.4	106.4	53.3	41.9	48.9	87.9	36.0	975.7
1973	6.1	71.1	14.8	58.8	83.5	73.0	55.8	80.2	114.4	72.2	94.4	75.2	799.5
1974	36.8	22.7	106.0	77.1	157.3	69.1	134.8	40.8	65.7	103.4	69.0	1.2	883.9
1975	16.5	50.1	71.2	54.0	86.0	120.5	76.7	109.1	126.9	98.6	42.3	120.8	972.7
1976	17.5	26.4	144.0	107.0	126.4	153.6	118.9	49.6	53.0	135.4	88.0	30.7	1050.5
1977	0.0	8.7	38.2	80.3	38.5	52.0	86.9	96.4	82.8	53.8	91.7	27.5	656.8
1978	15.7	13.1	53.7	137.6	77.9	131.6	76.8	48.3	42.6	5.7	25.2	24.8	653.0
1979	9.6	17.5	73.0	97.8	115.4	106.8	54.1	56.8	24.0	208.4	138.0	102.2	1003.6
1980	26.5	67.3	39.4	80.5	113.1	110.5	72.3	40.1	46.7	60.4	37.5	19.5	713.8
1981	0.0	26.0	4.7	187.4	132.4	55.7	47.4	66.2	65.5	96.7	43.8	26.3	752.1
1982	28.1	56.0	34.0	226.0	64.0	45.0	90.9	30.2	42.1	97.0	29.1	23.3	765.7
1983	7.8	67.0	76.1	73.9	44.6	62.6	75.3	52.9	69.0	49.3	11.7	8.7	598.9
1984	9.3	15.8	19.0	2.0	92.4	99.2	33.0	52.7	63.1	5.9	40.9	13.2	446.5
1985	6.9	15.0	29.0	34.0	155.0	98.0	30.0	53.0	50.0	70.0	132.0	66.0	738.9
1986	20.0	39.0	68.0	46.0							13.0	12.0	198.0
1987	28.0	39.0	12.0	50.0	121.0	69.0	133.0	57.0	61.0	129.0	77.0	26.0	802.0
1988	0.0	17.0	31.0	35.0	127.0	96.0	106.0	58.0	81.0	75.0	89.0	51.0	766.0
1989	0.0	64.0	166.0	43.0	91.0	51.0	97.0	34.0	26.0	12.0	77.0	61.0	722.0
1990	7.0	55.0	34.0	62.0	123.0	75.0	59.0	36.0	6.0	103.0	52.0	56.0	668.0
1991	50.0	15.0	49.0	45.0	55.0	40.0	181.0	63.0	20.0	25.0	87.0	0.0	630.0
1992	8.0	25.0	14.0	29.0	36.0		0.0	18.0	72.0	30.6	174.9	57.7	465.2
1993	40.4	28.4	37.6	116.6	173.6	148.6	122.8	89.3	49.2	74.5	103.1	4.2	988.3
1994	42.2	10.6	78.0	43.9	127.6	96.4	106.6	95.1	88.5	174.2	94.8	18.6	976.5
1995	1.5	15.0	59.4	18.1	85.6	71.0	95.0	81.4	26.9	71.6	28.3	42.0	595.8
1996	37.0	37.8	110.5	61.8	73.9	48.8	120.3	59.5	21.4	69.4	43.6	25.3	709.3
1997	81.6	55.2	35.0	59.9	103.8	70.9	151.3	81.4	24.9	19.1	42.5	13.5	739.1
1998	5.1	25.4	43.2	36.3	300.0	174.8	171.7	66.7	83.6	73.5	47.0	51.4	1078.7
1999	69.0	95.9	131.8	117.6	70.8	181.6	33.3	123.5	136.5	152.7	68.4	31.2	1212.3
2000	98.7	70.5	91.9	34.0	122.7	225.7	35.1	35.1	130.0	104.1	29.0	14.0	990.8
2001	0.2	19.4	89.1	47.0	107.2	85.1	107.3	72.2	134.2	112.7	89.5	29.4	893.3
2002	13.0	55.5	91.1	103.3	146.9	201.7	103.5	127.2	53.1	128.1	34.3	12.0	1069.7
2003	16.7	32.5	94.5	82.9	72.8	70.5	139.4	67.9	60.7	167.5	69.1	42.4	916.9
2004	44.5	52.1	73.3	151.0	167.2	124.3	70.3	87.0	40.9	48.4			859.0
2005		7.2	22.3	132.1	172.0	62.5	72.4	77.6	94.7	130.5	102.1	12.3	885.7
2006	12.4	0.4	137.0	240.3	142.9	113.9	65.9	4.1	61.3	207.0	60.9	42.9	1089.0
2007	0.0	15.1	81.2	46.4	82.6	129.2	44.1	102.6	24.7	173.5	34.2	72.3	805.9
2008	33.7	55.5	68.6	120.9	156.6	124.9	125.6	92.2	81.1				859.1
2009	31.9	22.4	58.0	59.1	92.2	61.2	132.5	84.9	51.8	91.2	34.0	1.6	720.8
2010	0.0	0.0	30.7	130.5	152.0	112.7	118.1	78.9	95.7	138.9	143.6	58.4	1059.5
2011	18.8	106.8	158.0	231.9	179.0	95.8	99.5	64.9	54.0	246.8	300.2	64.9	1620.6
2012	65.1	21.3	101.3	298.0	98.5	91.9	206.7	83.4	65.7	169.5	83.7	30.7	1315.8
2013	4.5	53.5	48.0	112.1	166.2	42.4	97.8	95.3	59.8	84.4	264.7	35.8	1064.5
2014	3.1	44.2	117.2	76.7	85.5	139.9	128.1						594.7
MEDIOS	23.6	35.8	65.3	95.4	113.7	100.0	93.7	69.3	62.4	99.9	78.0	35.6	872.6
MÁXIMOS	98.7	106.8	166.0	298.0	300.0	225.7	206.7	136.3	136.5	246.8	300.2	120.8	300.2
MÍNIMOS	0.0	0.0	4.7	2.0	36.0	40.0	0.0	4.1	6.0	5.7	11.7	0.0	0.0

Información de precipitación mensual suministrada por el IDEAM

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm) ESTACIÓN : 21200620 PISCIS

LATITUD	504	N	TIPO EST	PM	DEPTO	CUNDINAMARCA	FECHA-INSTALACIÓN	1985-MAR					
LONGITUD	7341	W	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	CHOCONTÁ	FECHA-SUSPENSIÓN						
ELEVACIÓN	2820	m.s.n.m	REGIONAL	BOGOTÁ	CORRIENTE	BOGOTÁ							
AÑO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1985			97.2	68.3	182.8	308.3	183.1	147.1	121.8	121.5	146.4	64.8	1441.3
1986	10.4	72.6	63.6	96.6	145.8	405.1	418.4	165.0	124.3	128.1	67.3	37.5	1734.7
1987	25.5	73.8	21.9	106.1	172.7	177.2	288.4	138.7	80.6	94.2	78.3	49.1	1306.5
1988	6.0	8.2	23.5	93.5	130.2	152.8	281.6	89.8	47.7	146.9	125.5	16.9	1122.6
1989	14.4	43.6	97.4	77.0	288.0	204.7	304.5	86.1	48.5	63.1	67.2	27.7	1322.2
1990	14.4	46.8	114.0	107.0	367.0	288.9	210.8	175.7	40.4	125.2	59.7	37.4	1587.3
1991	7.6	31.5	81.4	109.6	116.6	197.9	406.0	302.4	48.2	95.7	88.0	13.1	1498.0
1992	25.0	20.2	20.9	123.1	100.7	232.8	378.1	185.4	121.4	44.3	105.1	7.4	1364.4
1993	49.3	10.6	83.8	53.8	139.2	319.7	261.2	104.9	101.2	63.5	107.2	13.7	1308.1
1994	21.6	18.1	67.5	83.2	215.9	184.6	371.1	295.0	188.2	147.6	56.4	41.0	1690.2
1995	32.8	3.5	32.1	92.8	110.5	171.5	150.5	92.8	72.9	49.5	52.1	47.2	908.2
1996	32.1	101.9	85.6	57.4	187.4	271.4	275.9	153.9	101.6	100.4	61.3	47.1	1476.0
1997	55.4	61.5	78.0	95.4	174.8	139.4	446.4	248.1	37.8	38.8	23.3	32.0	1430.9
1998	2.4	17.1	54.8	69.3	259.0	277.2	247.0	85.2	70.6	76.5	62.1	24.2	1245.4
1999	6.9	62.6	57.0	129.4	111.0	117.4	164.9	114.3	151.0	133.7	58.6	9.0	1115.8
2000	27.1	33.2	62.4	94.3	115.3	97.4	150.1	268.0	85.7	99.4	82.0	27.8	1142.7
2001	0.0	25.5	35.1	53.4	91.0	133.9	104.4	303.6	122.6	40.7	73.0	23.3	1006.5
2002	18.7	27.0	67.9	137.0	186.5	327.2	196.8	258.0	52.1	51.3	46.1	4.7	1373.3
2003	0.5	51.1	87.0	68.2	146.8	123.4	271.4	104.0	89.9	83.9	59.9	31.9	1118.0
2004	18.6	23.7	43.4	113.3	159.3	258.9	134.3	244.2	69.8	76.9	34.1	16.2	1192.7
2005	20.9	15.9	10.6	84.5	185.5	115.5	166.6	147.8	100.9	82.8	39.2	5.1	975.3
2006	20.7	2.6	93.7	143.2	80.2	179.4	189.9	67.8	50.8	102.8	49.1	5.8	986.0
2007	0.0	21.5	30.7	98.8	94.6	244.4	93.3	181.6	75.2	108.1	54.8	28.8	1031.8
2008	35.8	15.1	14.0	52.1	154.3	162.5	193.2	95.7	67.7	72.1	134.8	24.3	1021.6
2009	13.1	29.1	46.6	97.0	88.4	125.9	208.2	158.1	93.7	45.8	40.0	6.1	952.0
2010	1.7	28.8	43.2	155.5	198.0	142.9	127.0	93.7	58.9	100.0	86.0	58.9	1094.6
2011	1.1	66.9	137.2	171.9	271.7	191.2	289.5	128.5	126.5	271.2	197.5	43.6	1896.8
2012	13.3	25.9	127.1	314.1	128.2	286.1	333.6	189.1	118.2	82.6	63.8	37.6	1719.6
2013	0.2	15.3	102.4	101.6	207.0	140.2	359.2	237.3	149.1	76.8	157.4	21.4	1567.9
2014	1.4	21.4	47.4	126.2	100.4	356.9	308.1	228.6	110.1	84.6	67.6	51.2	1503.9
2015	8.4	32.7	45.3	101.8	147.9	454.6	258.0	275.5	49.7	41.7	77.4	53.9	1546.9
2016	3.0												3.0
MEDIOS	15.8	33.6	63.6	105.7	163.1	219.0	250.7	173.1	89.6	91.9	78.1	29.3	1313.5
MÁXIMOS	55.4	101.9	137.2	314.1	367.0	454.6	446.4	303.6	188.2	271.2	197.5	64.8	454.6
MÍNIMOS	0.0	2.6	10.6	52.1	80.2	97.4	93.3	67.8	37.8	38.8	23.3	4.7	0.0

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)

ESTACIÓN : 21200160 PANONIA

LATITUD	503	N													
LONGITUD	7344	W													
ELEVACIÓN	2800	m.s.n.m													
	TIPO EST	PM	DEPTO	CUNDINAMARCA	FECHA-INSTALACIÓN	1985-MAR									
	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	CHOCONTÁ	FECHA-SUSPENSIÓN										
	REGIONAL	BOGOTÁ	CORRIENTE	BOGOTÁ											
ANO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL		
1985			62.0	55.5	93.8	145.7	35.1	103.6	104.2	94.1	118.6	54.4	867.0		
1986	36.0	70.2	50.5	123.0	86.5	200.6	204.8	121.7	72.8	216.2	92.0	4.2	1278.5		
1987	27.0	22.4	89.0	67.0	51.4	29.7	157.0	102.0	86.0	53.0	61.3	60.4	806.2		
1988	5.0	0.0	9.0	62.5	117.2	85.9	99.5	52.5	79.8	89.5	87.0	27.0	714.9		
1989	4.0	49.0	78.0	43.0	145.0	107.4	137.0	51.0	53.3	58.0	44.0	32.0	801.7		
1990	12.0	49.0	63.1	84.0	149.4	87.1	100.5	109.7	39.5	139.9	43.1	49.8	927.1		
1991	31.7	11.2	81.6	64.3	69.4	72.4	160.5	149.4	36.5	66.2	126.8	20.5	890.5		
1992	9.2	17.5	12.1	65.7	47.1	86.7	171.7	101.0	92.0	23.6	128.9	28.1	783.6		
1993	41.5	20.1	63.1	113.2	130.8	175.8	126.7	65.0	67.7	43.5	88.6	6.6	942.6		
1994	19.0	11.8	39.5	64.6	142.5	101.2	190.2	136.5	102.8	98.2	65.9	18.6	990.8		
1995	11.8	11.5	87.2	76.7	94.3	93.0	85.9	113.3	41.2	73.8	43.8	62.2	794.7		
1996	39.5	61.5	105.8	53.8	123.5	94.9	152.2	125.6	55.7	133.5	*	44.1	990.1		
1997	66.0	24.7	52.2	60.5	59.8	113.1	174.8	102.6					653.7		
1998	42.0			*	190.2	203.8	174.2	52.2	61.5	65.8	89.8	58.7	938.2		
1999	42.0	60.8	99.6	117.2	60.3	70.5	82.0	55.2	129.5	115.5	24.3	38.2	895.1		
2000	58.2	32.6	92.0	37.5	112.4	93.0	91.3	176.8	64.1	105.1	39.3	46.1	948.4		
2001	1.5	34.0	59.1	34.0	96.7	115.6	124.2	154.3	115.8	84.2	68.5	12.2	900.1		
2002	9.5	25.3	84.1	141.9	161.8	256.6	80.7	197.1	56.0	56.9	40.4	9.6	1119.9		
2003	0.0	53.6	87.1	95.1	133.5	50.7	130.5	71.4	72.3	106.3	7.3	42.4	850.2		
2004	46.3	36.3	37.7	149.4	169.5	243.1	130.7	135.1	60.4	96.9	43.7	52.5	1201.6		
2005		35.1	22.8	99.5	172.1		109.1	117.6	175.2	124.3	136.1	6.0	997.8		
2006	31.8	10.0	151.5	220.5	180.2	257.2	134.0	104.2	75.2	143.7	93.1	18.7	1420.1		
2007	0.3	22.6	46.9	114.7	133.9	153.3	68.0	152.7	85.7	151.6	44.4	35.7	1009.8		
2008	59.8	24.8	37.6	49.9	145.2	148.1	158.2	114.4	93.6	115.6	196.2	30.3	1173.7		
2009	58.5	30.6	88.7	63.3	75.0	125.6	112.7	129.4	85.8	71.6	48.0	7.4	896.6		
2010	0.5		34.0	140.3	172.3	130.1	180.4	103.8	88.4		99.2	62.2	1011.2		
2011	6.4	89.8	119.9	274.5	217.1	144.6	185.6	73.2	107.4	198.6	181.1	22.2	1620.4		
2012	49.5	26.8	128.1	302.4	148.1	160.5	224.8	125.0	90.7	122.9	61.6	20.4	1460.8		
2013	1.2	31.2	105.5	126.9	189.5	82.4	220.6	278.7	106.5	74.8	239.8	61.8	1518.9		
2014	19.6	35.0	75.6	98.3	91.8	280.5	233.6	134.4	109.0	109.7	115.3	63.3	1366.1		
2015	20.3	59.3	54.8	98.8	103.6	369.5	316.9	171.5	53.3	37.4	103.4	38.4	1427.2		
2016	1.4												1.4		
MEDIOS	25.1	34.2	70.6	103.3	124.6	142.6	146.9	118.7	82.1	99.0	87.3	34.5	1068.8		
MÁXIMOS	66.0	89.8	151.5	302.4	217.1	369.5	316.9	278.7	175.2	216.2	239.8	63.3	369.5		
MÍNIMOS	0.0	0.0	9.0	34.0	47.1	29.7	35.1	51.0	36.5	23.6	7.3	4.2	0.0		

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)
ESTACIÓN : 21205740 SILOS

LATITUD	507 N			TIPO EST	CO	DEPTO	CUNDINAMARCA				FECHA-INSTALACIÓN	1974-MAR	
LONGITUD	7342 W			ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	CHOCONTÁ				FECHA-SUSPENSIÓN		
ELEVACIÓN	2709	m.s.n.m		REGIONAL	BOGOTÁ	CORRIENTE	SISGA						
AÑO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1974			78.3	114.6	82.7	127.1	166.5	92.7	64.5	53.4	69.9	3.6	853.3
1975	9.0	56.7	38.4	80.5	60.8	146.8		*	55.6		36.2	131.3	615.3
1976	*	32.6	57.0	127.0	136.7	204.7	258.4	138.4	84.3	101.8	76.4	24.1	1241.4
1977	0.2	10.6	28.4	141.7	63.7	112.4	152.9	89.3	111.2	39.1	51.9	14.1	815.5
1978	5.7	40.0	45.0	114.9	75.5	137.4	112.9	113.6	69.6	97.0	19.8	21.0	852.4
1979	6.6	28.2	53.3	148.6	98.2	143.5	127.5	113.7	19.9		108.8	70.0	918.3
1980	31.8	23.3	31.2	100.7	107.9	222.8	125.6	107.9	86.7	77.3	35.1	20.0	970.3
1981	1.1	38.3	25.4	159.1	154.0	100.5	76.1	71.1	71.3	79.7	56.3	26.0	858.9
1982	9.8	24.8	81.8	145.4	109.3	110.6	176.1	168.9	86.1	78.6	51.3	23.1	1065.8
1983	20.9	84.9	50.2	104.4	68.8	89.4	171.5	105.0	64.4	85.4	18.8	26.2	889.9
1984	16.1	34.5	35.0	91.7	79.4	189.0	93.2	116.2	87.7	45.5	59.7	15.1	863.1
1985	8.3	7.4	90.9	63.2	130.0	169.7	121.3	78.9	86.8	116.5	108.4	54.1	1035.5
1986	9.2	95.3	48.5	53.9	88.3	223.1	239.9	97.3	81.0	119.6	62.9	21.7	1140.7
1987	12.4	32.5	7.7	89.8	127.1	124.1	160.2	97.7	62.3	82.1	59.2	33.1	888.2
1988					74.0			46.7	54.9	66.5	82.3	67.4	391.8
1989	15.5	32.0	59.8	45.3	175.4	133.1	194.4	49.8	63.9	50.4	40.5	36.3	896.4
1990	17.4	37.2	72.4	67.5	206.0	144.0	101.5	105.4	31.4	79.5	42.6	51.7	956.6
1991	12.8	37.1	85.5	56.6	65.3	92.1	250.9	188.0	65.1	53.3	47.4	18.7	972.8
1992	15.0	26.6	19.3	82.7	51.4	89.8	212.7	101.3	77.5	38.8	84.9	12.5	812.5
1993	25.9	13.0	78.6	49.7	105.5	168.9	148.9	60.7	74.6	44.4	*		770.2
1994						60.1	38.6	97.0	77.4	121.6		1.9	396.6
1995				79.1	79.3	91.6	83.6	80.3	36.7	41.1	34.7	48.3	574.7
1996	30.8	85.8	97.9	51.9	99.1	106.6	162.2	102.3	67.9	84.1	44.0	44.3	976.9
1997	50.7	38.2	25.7	17.4	140.5	128.1	288.8	143.2	24.0	26.1	24.5	0.0	907.2
1998	2.6	18.9	70.5	12.0	159.0	162.1	137.9	41.0	24.4	41.0	42.6	17.0	729.0
1999	26.0	29.4	33.2	112.6	26.6	59.9	23.1	53.1	74.8	38.2	46.2	5.2	528.3
2000	24.6	43.8	93.8	86.3	128.7	157.2	90.9	155.8	112.8	100.9	53.2	*	1048.0
2001			28.8	43.2	76.5	143.5	107.2	195.7	107.7	47.6	77.1	49.7	877.0
2002	16.0	17.9	89.9	103.2	162.9	239.5	194.9	213.5	64.0	64.4	63.4	20.9	1250.5
2003		*	100.8	56.1	130.1	103.5	176.0	76.4	82.6	96.8	44.4		866.7
2004								125.2	71.2	107.0	64.5	31.0	398.9
2005	17.2	31.1	37.3	91.5	139.1	97.7	114.8	140.4	118.3	104.3	88.4	10.3	990.4
2006	30.7	13.9	60.4	168.4	114.7	199.3	170.3	93.1	42.1	128.6	63.6	29.5	1114.6
2007	1.6	26.7	22.1	79.6	89.8	176.5	70.9	108.4	59.7	95.6	66.9	37.7	835.5
2008	30.9	25.7	44.5	40.6	149.1	144.0	128.7	125.1	120.2	92.9	150.9	28.4	1081.0
2009	44.3	36.5	53.4	97.2	84.6	115.0	180.5	150.3	74.5	83.5	62.1	9.8	991.7
2010	2.2	35.1	45.6	148.1	137.9	112.1	125.8	72.0	59.9	138.5	101.9	54.7	1033.8
2011	11.9	63.1	128.5	208.7	212.3	129.8	131.2	80.0	96.9	123.2	217.8	39.2	1442.6
2012	25.7	55.3	115.1	237.4	93.1	150.7	225.0	121.7	65.3	78.7	72.2	55.2	1295.4
2013	1.7	24.8	108.0	120.1	154.1	74.0	168.2	131.8	80.7	70.0	153.6	41.8	1128.8
2014	12.2	45.0	61.7	85.4	86.1	213.7	229.2	121.1	91.8	91.7	68.0	53.8	1159.7
2015	20.4	47.7	36.9	56.6	99.7	170.9	180.2	97.8	40.8	26.9			777.9
MEDIOS	16.7	37.0	59.0	95.7	110.6	139.1	151.8	109.0	71.3	77.8	68.0	32.9	968.7
MÁXIMOS	50.7	95.3	128.5	237.4	212.3	239.5	288.8	213.5	120.2	138.5	217.8	131.3	288.8
MÍNIMOS	0.2	7.4	7.7	12.0	26.6	59.9	23.1	41.0	19.9	26.1	18.8	0.0	0.0

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)
ESTACIÓN : 35070490 HATO GRANDE HDA

LATITUD	457	N		TIPO EST	PM		DEPTO	CUN DINAMARCA		FECHA-INSTALACIÓN	1982-JUL		
LONGITUD	7335	W		ENTIDAD	IDEAM		MUNICIPIO	MANTA		FECHA-SUSPENSIÓN			
ELEVACIÓN	2346	m.s.n.m		REGIONAL	BOGOTÁ		CORRIENTE	MACHETA					
AÑO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1982										340.0	261.0	*	601.0
1983	*	*	*	175.2	381.0	365.0		320.0	241.0	294.0	113.2	132.0	2021.4
1984	38.0	107.0	33.0	125.0	221.0	504.0	266.0	309.0	221.0	115.0	157.0	64.0	2160.0
1985	49.0		89.0	188.0	316.0	24.4	20.7	225.0	155.0	186.0	91.0	132.3	1476.4
1986	30.0	187.0	128.0	227.3	321.0	494.0	336.0	252.0	177.0	241.0	206.0	65.0	2664.3
1987	32.0	120.0	76.0	232.0	362.0	280.0	373.0	224.0	176.0	374.0	126.0	107.0	2482.0
1988	0.0	14.0	40.0	210.0	207.0	290.0	419.0	196.1	207.7	201.3	242.4	52.1	2079.6
1989	38.5	95.8	250.4	111.6	331.3	292.6	458.4	305.5	174.5	171.1	155.9	51.5	2437.1
1990	43.7	84.9	193.4	232.1	369.3	289.5	277.0	256.7	97.5	190.9	152.4	63.6	2251.0
1991	1.5	47.3	194.8	242.6	260.0	322.1	603.7	269.8	168.7	142.4	274.0	46.8	2573.7
1992	29.3	33.8	39.6	133.5	191.2	243.0	375.5	271.8	229.3	115.2	272.5	77.0	2011.7
1993	69.2	33.3	111.4	243.9	317.2	367.6	366.2	147.6	217.4	149.0	214.8	15.9	2253.5
1994	52.2	69.8	157.7	141.7	327.1	251.3	332.3	383.1	218.1	209.1	150.5	25.5	2318.4
1995	23.9	15.5	138.5	162.6	238.9	294.7	200.6	120.1	155.1	198.9	137.7	91.7	1778.2
1996	71.6	100.0	118.9	175.8	211.8	243.8	204.9	62.9	183.3	170.7	94.9	84.7	1723.3
1997	56.0	67.8	81.3	207.7	232.1	207.5	292.6	183.6	106.6	121.3	80.9	25.8	1663.2
1998	16.5	25.8	80.0	248.1	90.3	291.1	293.6	192.8	99.1	160.3	152.2	48.7	1698.5
1999	89.6	74.0	132.0	244.9	203.4	296.7	199.0	168.7	160.1	267.5	62.4	37.8	1936.1
2000	56.1	173.9	125.3	86.1	209.3	189.6	196.9	268.5	149.9	166.8	116.5	114.3	1853.2
2001	1.9	23.9	75.6	56.3	201.0	236.4	152.9	190.1	211.0	85.8	140.0	95.8	1470.7
2002	33.7	18.6	*	270.9	190.0	344.4	170.2	232.6	135.8		*	10.5	1406.7
2003	0.0	19.4	41.5	150.0	102.9	70.5	65.9	167.2	258.3	98.9			974.6
2004			88.1	249.7	395.4								733.2
2005		88.3		219.2	318.9	344.1	283.8		262.5	210.8			1727.6
2006										278.1	105.3	68.3	451.7
2007	9.5	40.3										33.6	83.4
2008	50.5	*	66.6	32.4	182.6		319.8	181.8	170.7	84.0	245.4	7.6	1341.4
2009	46.8	23.7	121.9	139.0	131.4	245.0	286.9	223.3	116.4	115.5	56.1	28.6	1534.6
2010	3.0	40.7	103.4	316.9	253.4	242.0	298.4	167.9	106.3		133.4		1665.4
2011	12.2	102.2	272.5	418.7	447.7	267.7	186.7	233.5	228.3	377.7	268.3	76.1	2891.6
2012	63.8	47.9	239.8	318.9	449.6	375.4	456.2	351.5	196.9	205.8	93.1	44.5	2843.4
2013	4.8	70.7	130.4	233.2	422.8	268.6	399.6	425.6	234.4	94.4	320.6	144.8	2749.9
2014	31.1	157.2	106.0	275.3	312.3	461.2	414.2	278.1	84.9	253.5	171.1	150.3	2695.2
2015	63.9	119.8			205.5		363.9	240.4	57.7	146.8			1198.0
MEDIOS	35.1	71.5	119.8	202.3	271.1	289.4	297.0	236.2	173.4	192.2	164.1	67.7	2119.7
MÁXIMOS	89.6	187.0	272.5	418.7	449.6	504.0	603.7	425.6	262.5	377.7	320.6	150.3	603.7
MÍNIMOS	0.0	14.0	33.0	32.4	90.3	24.4	20.7	62.9	57.7	84.0	56.1	7.6	0.0

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)
ESTACIÓN : 21200780 POTRERO LARGO

LATITUD	455 N	TIPO EST	PM	DEPTO	CUNDINAMARCA	FECHA-INSTALACIÓN	1985-MAR						
LONGITUD	7346 W	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	GUATAVITA	FECHA-SUSPENSIÓN							
ELEVACIÓN	2780 m.s.n.m	REGIONAL	BOGOTÁ	CORRIENTE	BOGOTÁ								
AÑO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1985			*	90.2	156.2	132.8	139.6	78.1	107.4	126.5	99.5	62.3	992.6
1986	17.9	164.9	52.2	42.4	109.2	254.0	226.2	94.7	65.6	114.8	48.8	29.7	1220.4
1987	12.8	56.7	14.3	120.3	94.1	78.1	240.8	112.3	60.2	116.6	62.4	39.6	1008.2
1988	2.9	23.1	19.9	44.5	92.7	95.1	178.1	79.1	90.9			86.4	712.7
1989	20.8	63.8	171.6	48.0	136.0	135.9	158.6	58.4	64.9	38.3	54.6	57.0	1007.9
1990	26.8	62.2	82.5	107.4	221.1	211.0	103.0	99.3	35.4	133.0	61.7	95.0	1238.4
1991	68.1	99.5	90.1	41.3	72.9	109.8	253.4	230.2	51.0	61.9	67.2	29.5	1174.9
1992	7.8	19.5	41.4	84.8	49.2	80.6	229.8	128.3	83.8	29.0	192.3	28.1	974.6
1993	42.4	41.0	37.6	85.5	134.3	194.2	190.5	106.3	66.7	92.7	110.9	8.5	1110.6
1994	27.5	38.0	110.0	50.4	138.5	160.1	313.5	169.0	81.3	210.9	94.8	58.8	1452.8
1995	51.1	31.1	61.8	47.5	136.4	119.7	114.0	110.9	42.9	77.1	52.9	94.5	939.9
1996	104.0	82.0	132.5	126.5	140.3	114.5	211.0	114.6	32.5	94.1	57.4	56.5	1265.9
1997	77.6	54.7	36.7	62.3	106.1	149.5	295.0	148.9	36.4	32.6	34.5	14.2	1048.5
1998	3.8	15.3	47.9	67.3	159.3	185.0	159.6	93.6	43.9	68.4	55.2	123.0	1022.3
1999	60.3	83.7	73.3	128.7	61.1	140.6	94.0	78.1	132.8	237.3	118.5	31.2	1239.6
2000	96.6	61.6	61.8	67.7	170.8	163.1	122.3	167.9	112.5	85.2	54.0	46.5	1210.0
2001	0.5	43.4	34.4	84.4	114.8	216.5	44.9	163.0	142.2	79.0	129.2	68.4	1120.7
2002	44.9	12.9	52.8	95.1	231.0	395.9	215.0	221.3	64.8	47.3	*	4.3	1385.3
2003	23.2	50.2	93.3	66.3	146.3	77.2	147.4	119.5	59.3	121.6	110.3	40.5	1055.1
2004	45.1	51.0	79.3	135.3	175.8	235.1	216.0	191.0	74.3	167.8	81.6	78.8	1531.1
2005	31.1	58.2	28.3	139.6	206.4	144.5	127.8	88.3	138.3	177.2	143.1	15.5	1298.3
2006	48.1	11.0	84.1	213.5	163.7	199.9	181.6	106.9	65.3	147.8	27.7	42.1	1291.7
2007	1.0	24.2	32.0	75.6	90.1	212.3	88.7	124.1	40.2	107.7	65.4	53.5	914.8
2008	48.5	21.8	85.9	68.8	176.8	151.5	143.7	93.0	82.5		180.7	80.4	1133.6
2009	91.9	25.9	62.5	96.6	68.2		174.0	128.4	35.7	100.1	41.5	3.8	828.6
2010	3.2	33.3	59.4	142.7	182.5	110.9	123.5	70.0	55.4	191.2	128.2	69.5	1169.8
2011	30.9	97.3	203.9	219.3	232.7	115.6	142.9	102.4	77.3	205.8	187.0	44.4	1659.5
2012	43.0	61.5	89.9	170.6	90.3	123.0	279.8	105.6	99.3	86.4	69.9	55.5	1274.8
2013	11.5	55.7	82.0	110.5	192.0	138.0	210.7	174.7	48.2	87.7	177.2	37.6	1325.8
2014	25.7	14.5	120.9	59.6	110.8	368.3	391.7	95.1	49.1	77.5	90.6	34.5	1438.3
2015	17.3	50.5	65.5	64.7	111.3	383.7	301.7	283.8	20.4	19.5	75.3	25.5	1419.2
2016	7.0	12.7	37.2										56.9
MEDIOS	35.3	49.1	72.4	95.4	137.8	173.2	187.7	127.0	69.7	108.1	92.2	48.9	1196.7
MÁXIMOS	104.0	164.9	203.9	219.3	232.7	395.9	391.7	283.8	142.2	237.3	192.3	123.0	395.9
MÍNIMOS	0.5	11.0	14.3	41.3	49.2	77.2	44.9	58.4	20.4	19.5	27.7	3.8	0.5

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)
ESTACIÓN : 35060170 TASAJERAS

LATITUD	453 N			TIPO EST	PM			DEPTO	CUNDINAMARCA		FECHA-INSTALACIÓN		1972-FEB
LONGITUD	7336 W			ENTIDAD	IDEAM			MUNICIPIO	GACHETA		FECHA-SUSPENSIÓN		
ELEVACIÓN	2502 m.s.n.m			REGIONAL	BOGOTÁ			CORRIENTE	AGUACIA				
AÑO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1972		*	214.0	259.0	283.0	289.0	416.0	364.0	414.0	230.0	441.0	242.0	3152.0
1973	122.0	137.0	128.0	339.0	402.0	461.0	521.0	415.0	497.0	431.0	356.0	213.0	4022.0
1974	184.0	177.0	279.0	283.0	256.0	221.0	227.0	148.0	188.0	171.0	175.0	14.0	2323.0
1975	53.0	108.0	172.0	193.0	288.0	351.0	182.0	313.0	218.0	245.0	169.0	220.0	2512.0
1976	51.0	88.0	264.0	312.0	375.0	472.0	416.0	192.0	201.0	338.0	148.0	149.0	3006.0
1977	0.0	97.0	103.0	184.0	215.0	357.0	348.0	168.0	267.0	172.0	275.0	33.0	2219.0
1978	50.0	64.0	137.0	229.0	229.0	292.0	143.0	126.0	126.0	176.0	59.0	77.0	1708.0
1979	23.0	14.0	258.0	254.0	267.0		207.0	216.0	136.0	358.0	319.0	58.0	2110.0
1980	46.0	310.0	78.0	230.0	*	169.0	121.0	129.0	85.0	181.0			1349.0
1981	0.0	80.0	35.0	375.0	367.0	262.0	194.0	149.0	249.0	218.0	267.0	82.0	2278.0
1982	85.0	143.0	269.0	350.0	144.9	158.0	336.0	135.0	71.0	148.0	139.0	115.0	2093.9
1983	119.0	179.0	191.0	262.0	218.0	205.0	276.0	262.0	221.0	280.2		142.0	2355.2
1984	107.0	239.0	119.0	189.0	247.0	534.0	255.0	293.0	260.0	234.0	213.0	59.0	2749.0
1985	5.0	75.0	242.0	267.0	151.7	158.7	166.2	171.0	209.5	166.8	172.4	119.4	1904.7
1986	28.5	164.6	114.4	136.8	199.4	428.2	235.9	224.7	138.7	264.7	75.8	55.2	2066.9
1987	28.5	80.2	67.5	140.8	226.6	177.1	351.1	200.8	94.9	246.0	190.5	65.5	1869.5
1988	7.5	30.7	67.0	141.6	236.2	226.1	289.3	153.9	184.0	183.3	361.5	77.2	1958.3
1989	72.6	57.6	252.0	168.0	296.0	241.4	272.3	114.5	116.6	151.0	118.2	91.5	1951.7
1990	64.0	68.4	139.7	203.8	317.6	147.5	247.6	163.0	60.5	201.3	132.5	137.0	1882.9
1991	7.0	35.3	152.6	113.4	241.1	233.4	347.0	233.2	109.7	139.1	246.9	54.0	1912.7
1992	28.0	25.0	24.4	28.6	30.1	24.8	56.0	44.4	20.2	12.4	41.9	37.4	373.2
1993	12.4	3.6		*	40.8	56.9	35.0	84.3	19.1	41.2	73.7	24.0	391.0
1994	16.2	10.6	62.8	140.5	330.5	256.0	250.0	213.4	123.5	263.3	179.8	44.3	1890.9
1995	27.7	13.2	129.7	116.8	241.6	216.4	145.3	108.2	77.1	174.7	96.9	121.6	1469.2
1996	25.6	104.1	138.6	154.1	250.8	210.4	217.2	164.9	87.9	189.8	76.0	113.2	1732.6
1997	42.3	80.3	21.6	33.9	163.4		117.7	68.0	26.2	51.7	53.8	20.4	679.3
1998	1.7	6.0	31.9	46.9	100.4	147.0	129.6	44.6	23.9	26.7	80.0	111.7	750.4
1999	80.4	70.5	76.4	224.7	110.8	106.7	93.4	73.0	108.8	158.4	60.3	24.1	1187.5
2000	81.6	94.9	123.0	47.7	187.6	165.9	37.0	59.3	50.9	48.5	37.3	78.3	1012.0
2001	15.0	74.7	120.4	118.5	240.3	240.9	171.5	193.3	190.7	139.2	215.3	166.6	1886.4
2002	38.3	49.8	182.8	222.0	304.0	253.8	267.5	239.3	90.6	251.3	130.3	39.9	2069.6
2003	2.0	40.1	149.4	167.8	337.7	270.5	210.3	168.8	174.6	212.2	208.7	78.0	2020.1
2004	51.1	94.8	142.7	257.9	305.1	324.3	266.6	236.8	114.2	249.1	179.9	68.4	2290.9
2005	36.6	90.0	59.2	247.3	374.7	182.1	155.1	163.6	203.0	261.2	284.3	53.6	2110.7
2006	229.1	12.6	250.5	297.2	341.0	255.3	140.2	249.3	101.1		150.5	81.4	2108.2
2007	3.2	26.5	103.1	235.3	235.7	287.1	145.3	217.5	145.2	227.5	169.0	138.5	1933.9
2008	89.0	66.0	99.0	116.3	311.5	363.5	350.0	219.5	153.5	213.0	413.6	24.5	2419.4
2009	139.5	67.0	136.9	200.1	183.0	248.0	295.7	148.5	87.4	182.5	68.4	24.1	1781.1
2010	5.7	38.3	117.1	225.5	294.0	201.0	297.5	144.5	106.5	234.2	271.6	102.4	2038.3
2011	46.8	104.0			261.7	246.6	156.8	116.0	158.1	278.8	345.4	155.2	1869.4
2012	50.1	63.7	179.7	359.7	223.4	192.8	334.8	152.2	76.1	183.7	206.7	137.4	2160.3
2013	8.8	127.4	179.4	211.4	342.7			199.5	110.1	76.3	376.4	89.1	1721.1
2014	31.0	101.8	127.3	162.9	159.9	322.1	270.3	191.1	165.9	162.5	115.8	74.9	1885.5
2015	52.8	35.4	117.5	188.7	148.0	329.1	255.8	257.8	113.2	76.7	189.0	53.0	1817.0
2016	4.5	32.6											37.1
MEDIOS	49.4	81.4	139.4	200.8	243.7	250.8	231.4	180.2	144.9	191.8	187.7	89.9	1991.5
MÁXIMOS	229.1	310.0	279.0	375.0	402.0	534.0	521.0	415.0	497.0	431.0	441.0	242.0	534.0
MÍNIMOS	0.0	3.6	21.6	28.6	30.1	24.8	35.0	44.4	19.1	12.4	37.3	14.0	0.0

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)
ESTACIÓN : 35060200 AMOLADERO EL

LATITUD	451 N	TIPO EST		PM	DEPTO	CUNDINAMARCA	FECHA-INSTALACIÓN		1972-ABR				
LONGITUD	7344 W	ENTIDAD		IDEAM	MUNICIPIO	GUATAVITA	FECHA-SUSPENSIÓN						
ELEVACIÓN	2963 m.s.n.m	REGIONAL		BOGOTÁ	CORRIENTE	SUEVA							
AÑO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1972					261.0	352.0	346.0	235.0	193.0	121.0	115.0	58.0	1681.0
1973	34.0	21.0	49.0	106.0	250.0	262.0	286.0	237.0	232.0	132.0	150.0	98.0	1857.0
1974	35.0	66.0	116.0	203.0	239.0	202.0	350.0	213.0	143.0	120.0	118.0	8.0	1813.0
1975	53.0	60.0	157.0	119.0	236.0	466.0	183.0	235.0	158.0	190.0	107.0	185.0	2149.0
1976	68.0	50.0	150.0	239.0	302.0	470.0	538.0	228.0	198.0	155.0	123.0	78.0	2599.0
1977	1.0	45.0	98.0	176.0	116.0	220.0	299.0	132.0	207.0	115.0	104.0	27.0	1540.0
1978	46.0	40.0	102.0	194.0	163.0	297.0	207.0	162.0	105.0	128.0	52.0	67.0	1563.0
1979	9.0	14.0	108.0	233.0	177.0	257.0	211.0	211.0	68.0	237.0	206.0	92.0	1823.0
1980	59.0	44.0	119.0	180.0	173.0	349.0	220.0	188.0	138.0	184.0	84.0	67.0	1805.0
1981	5.0	98.0	28.0	228.0	299.0	205.0	158.0	157.0	166.0	157.0	128.0	42.0	1671.0
1982	34.0	51.0	134.0	287.0	155.0	190.0	411.0	246.0	120.0	181.0	85.0	40.0	1934.0
1983	56.0	147.0	90.0	163.0	117.0	139.0	248.0	167.0	161.0	123.0	42.0	51.0	1504.0
1984	23.0	108.0	64.0	96.0	158.0	255.0	122.0	145.0	123.0	59.0	115.0	16.0	1284.0
1985	44.5	36.8	124.2	189.4	239.5	371.0	248.0	198.2	110.0	190.6	193.6	34.8	1980.6
1986	12.4	121.3	92.8	111.8	188.1	428.9	424.1	195.2	94.3	178.7	106.2	68.6	2022.4
1987	46.4	118.3	56.8	240.8	341.0	284.1	493.6	301.1	79.3	115.1	146.9	38.1	2261.5
1988	0.8	18.8	32.2	183.0	192.0	155.7	207.5	75.8	118.5	189.1	248.7	109.7	1531.8
1989	22.8	70.2	171.9	143.3	289.0	276.3	322.8	150.0	123.3	158.1	107.3	71.2	1906.2
1990	86.1	67.7	191.2	88.9	303.5	232.7	138.0	97.6	59.6	95.1	105.2	91.3	1556.9
1991	5.4	48.5	76.7	47.0	138.8	127.8	83.7	40.4	27.8	20.7	20.5	4.3	641.6
1992	3.3	12.3	30.3	140.6	125.7	178.4	356.7	127.8	117.1	91.1	140.7	51.0	1375.0
1993	47.6	23.7	98.2	141.0	206.1	171.3	226.5	113.9	146.5	149.0	114.7	22.0	1460.5
1994	37.0	32.1	74.6	133.1	314.6	280.0	313.0	267.0	130.3	209.4	125.1	44.5	1960.7
1995	33.3	43.6	122.6	103.4	223.7	185.8	138.8	159.4	79.9	145.3	94.0	95.6	1425.4
1996	52.3	123.2	136.1	149.1	270.0	183.1	308.1	152.8	84.4	227.2	115.0	80.4	1881.7
1997	56.4	100.0	60.3	140.7	256.9	262.4	350.4	192.6	89.1	84.5	87.0	55.9	1736.2
1998	11.6	33.8	124.5	142.5	276.9	316.0	300.8	174.6	108.9	91.5	95.2	154.3	1830.6
1999	70.2	92.7	125.5	287.5	154.6	238.4	146.2	147.8	171.5	278.1	127.7	92.6	1932.8
2000	147.3	131.0	102.1	100.4	285.5	239.2	203.3	279.7	128.2	123.6	123.5	112.3	1976.1
2001	3.2	116.5	83.7	124.2	264.3	289.9	226.8	256.0	177.7	83.4	137.1	129.5	1892.3
2002	42.0	17.9	128.5	222.6	285.8	378.3	326.1	286.7	121.4	121.6	86.4	21.4	2038.7
2003	7.8	49.1	155.9	190.3	276.6	154.1	217.5	158.3	143.8	157.4	77.8	58.7	1647.3
2004	95.3	66.5	146.5	164.7	336.7	371.0	246.7	213.3	123.0	141.2	90.7	73.3	2068.9
2005	38.8	71.6	53.0	220.8	311.2	167.7	185.0	164.4	187.6	207.9	176.7	26.2	1810.9
2006	99.6	19.6	183.0	303.2	248.8	231.5	171.4	178.4	98.1	209.1	92.0	44.0	1878.7
2007	7.6	46.9	93.6	161.7	157.1	340.0	156.7	206.5	108.2	155.0	110.4	135.8	1679.5
2008	71.6	45.7	80.2	87.4	229.5	312.6		123.2	130.4	104.8	198.2	58.8	1442.4
2009	48.2	80.4	126.2	174.5	115.4	263.9	327.0	157.8	134.6	170.3	76.2	44.7	1719.2
2010	14.3	60.2	120.7	201.1	215.2	204.9	197.5	77.3	76.9	153.7	151.1	96.7	1569.6
2011	35.0	126.7	210.7	368.3	298.6	221.9	185.1	130.6		184.2	269.7	97.6	2128.4
2012	62.8	78.8	188.7	258.8	252.5	225.9	384.6	183.7	108.7	126.2	82.5	92.6	2045.8
2013	7.0	73.7	147.7	150.6	330.1	140.6	259.2	211.7	89.3	97.3	177.9	70.0	1755.1
2014	30.4	59.0	85.3	171.8	165.4	449.6	429.9	242.5	190.2	121.9	109.0	93.9	2148.9
2015	46.8	62.8	62.2	188.3	200.0	456.0	354.7	250.4	106.2	84.2			1811.6
MEDIOS	39.8	65.0	109.3	175.7	230.4	268.3	267.6	183.4	127.4	144.7	121.3	69.7	1802.6
MÁXIMOS	147.3	147.0	210.7	368.3	341.0	470.0	538.0	301.1	232.0	278.1	269.7	185.0	538.0
MÍNIMOS	0.8	12.3	28.0	47.0	115.4	127.8	83.7	40.4	27.8	20.7	20.5	4.3	0.8

Información de temperatura mensual suministrada por la CAR

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica
VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)
ESTACIÓN : 2120548 IBERIA LA

Latitud	X=N=1048900	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	EMB. SISGA	Categoría	CP						
Longitud	Y=E=1038800	Municipio	CHOCONTA	Cuenca	EMB. SISGA	Fecha Instalación	8/01/1955						
Elevación	2760 m.s.n.m	Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión							
ANO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	T MEDIA
1966	10.9	11.6	12.6	11.7	12.2	11.8	10.8	10.1	10.4	12.1	12.9	12.2	11.6
1967	10.7	9.9	9.6	10.0	13.3	11.7	10.4	11.2	11.2	11.4	12.3	11.1	11.1
1968	10.0	11.1	11.1	12.3	13.0	12.2	10.2	10.7	10.8	12.6	12.5	11.2	11.5
1969	11.5	12.9	12.5	13.9	13.5	12.6	11.8	12.0	12.6	13.3	12.3	10.4	12.4
1970	10.4	11.8	11.9	12.4	12.6	12.6	12.1	12.2	11.6	11.8	11.8	11.0	11.9
1971	11.3	11.2	12.2	12.0	12.0	11.3	11.1	10.9	11.2	11.6	11.2	10.7	11.4
1972	11.5	11.0	12.0	11.7	12.4	11.9	11.6	11.1	11.4	11.2	12.3	11.8	11.7
1973	11.5	12.1	13.9	12.8	12.0	12.0	11.5	11.9	11.8	12.2	12.5	11.2	12.1
1974	10.8	11.8	12.2	12.2	11.2	11.3	11.0	11.2	11.1	11.4	12.3	10.1	11.4
1975	10.9	11.8	12.0	12.4	12.1	11.8	11.6	11.2	11.5	11.5	12.0	12.2	11.8
1976	11.5	11.7	13.0	12.8	12.8	12.0	11.9	11.7	11.9	13.2	12.7	11.9	12.3
1977	11.6	12.9	13.8	14.0	13.1	13.0	12.7	12.6	13.1	13.6	13.7	12.5	13.1
1978	11.4	12.5	12.8	13.6	13.2	12.3	12.2	11.9	12.1	12.6	12.7	11.7	12.4
1979	12.4	12.2	13.3	13.2	12.4	12.0	11.5	11.6	11.7	12.5	12.7	12.0	12.3
1980		12.4	12.4	11.7	11.4	11.4	11.1	11.1	11.4	11.9	12.6	11.7	11.7
1981	12.0	12.6	13.4	13.0	13.0	12.3	11.1	12.2	11.1	12.1	13.3	12.2	12.4
1982	12.4	13.4	13.4	12.7	12.9	12.0	11.5	11.5	12.3	12.4	12.8	12.7	12.5
1983	13.1	13.5	13.2	13.3	13.3	12.0	11.4	11.4	11.2	11.3	11.8	11.7	12.3
1984	11.5	12.2	13.0	13.1	12.6	11.6	11.1	11.4	11.1	11.8	12.1	11.5	11.9
1985	12.2	11.3	13.3	14.2	12.5	12.6	13.3	13.3	12.5	12.1	12.0	11.8	12.6
1986	11.7	12.1	12.2	13.6	12.2	12.2	11.8	11.8	12.0	12.0	12.0	11.7	12.1
1987	12.1	13.5	13.6	13.5	13.4	12.7	12.8	12.4	12.8	13.3	13.2	12.5	13.0
1991	13.4	14.3	14.1	14.2	14.2	13.8	13.2	12.0	13.4	12.2	12.6	12.1	13.3
1992	12.5	13.4	14.2	13.6	12.6	11.2	10.5	10.8	10.2	10.6	11.5	11.1	11.9
1993	10.8	11.2	11.3	11.6	12.0	10.8	10.3	10.8	11.0	11.9	12.4	11.6	11.3
1994	11.5	11.8	12.2	12.4	12.7	12.0	12.6	12.7	13.2	13.8	13.9	13.7	12.7
1995	13.5	14.2	14.5	14.6	13.7	13.7	12.9	13.4	13.2	13.6	13.0	11.8	13.5
1996	11.5	11.4	12.4	12.7	12.2	11.9	11.7	11.8	11.7	12.4	11.4	10.7	11.8
1997	11.6	11.2	11.7	12.1	11.9	11.7	10.5	10.7	11.4	13.1	12.3	11.8	11.7
1998	12.8	13.8	13.9	14.0	13.8	12.0	11.6	11.9	12.6	13.5	13.2	13.2	13.0
1999		13.5	11.7	11.7	11.6	11.6	10.4	10.7	11.2	11.7	12.5	12.0	11.7
2000	11.7	10.0	10.0	10.0	10.4	10.3	9.8	9.7	10.3	10.4	11.3	10.2	10.3
2001	9.6	13.7	12.3	11.5	12.8	12.5	12.7	12.6	13.5	14.3	14.4	15.3	12.9
2002	11.7	13.9	13.3	12.9	14.1	14.4						12.0	13.2
2003	11.8	13.5	12.5	13.3	11.3	11.5	11.4	11.3	11.9	12.9	13.4	12.8	12.3
2004	13.2	8.5	12.7	13.7	14.4	12.8	12.6	12.9	10.2	11.5	11.9	11.8	12.2
2005	11.9	12.1	13.3	12.4	10.8	10.1	11.9	11.5	12.3	13.5	14.3	13.4	12.3
2006	14.9	15.3	10.6	9.6	12.2	14.4	12.1		13.1	13.1		12.5	12.8
2007	10.3	9.8	10.4	12.1						13.5	12.1	12.7	11.6
2008	13.1	8.3	8.7	13.8	14.7	13.6	14.8	14.2	10.9	11.7	13.4	9.6	12.2
2009	9.6	9.3	9.9	10.2	9.9							13.0	10.3
2010	13.0	14.2	14.1	14.7	14.6	14.2	14.4	12.2	12.7	13.2	13.6	17.0	14.0
2011	16.7	15.0	12.2	12.4	12.5	12.5	11.6	12.4	12.2	13.3	13.5	13.8	13.2
2012	13.4	14.2	13.3										13.6
MEDIOS	11.9	12.2	12.4	12.6	12.6	12.2	11.7	11.7	11.8	12.4	12.6	12.0	12.2
MÁXIMOS	16.7	15.3	14.5	14.7	14.7	14.4	14.8	14.2	13.5	14.3	14.4	17.0	17.0
MÍNIMOS	9.6	8.3	8.7	9.6	9.9	10.1	9.8	9.7	10.2	10.4	11.2	9.6	8.3

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica
VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)
ESTACIÓN : 2120562 GUATAVITA

Latitud	X=N=1034500	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	EMB. TOMINÉ	Categoría	CP						
Longitud	Y=E=1023500	Municipio	GUATAVITA	Cuenca	EMB. TOMINÉ	Fecha Instalación	11/01/1967						
Elevación	2625 m.s.n.m	Oficina Provincial	2 ALMEIDAS - GUATAVITA			Fecha Suspensión							
AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	T MEDIA
1968					13.2	11.6	10.4	10.2	10.7	13.0	13.7	12.9	12.0
1969	13.1	14.2	14.7	14.9	14.3	13.8	11.8	12.1	12.7	12.7	13.1	12.8	13.4
1970	12.8	14.2	14.0	14.6	14.2	13.5	13.0	12.9	13.1	13.6	13.8	13.0	13.6
1971	13.4	13.5	14.1	13.7	14.1	12.9	12.8	13.0	12.8	13.6	13.2	13.3	13.4
1972	13.2	13.9	14.7	14.3	14.8	14.2	13.6	13.9	14.2	14.5	14.7	14.7	14.2
1973	14.5	15.0	15.6	14.9	14.5	14.2	13.4	13.6	13.3	13.5	14.1	13.1	14.1
1974	13.3	14.4	14.4	14.3	13.8	13.6	13.1	13.5	13.7	13.8	14.6	13.8	13.9
1975	13.2	13.9	13.7	14.3	13.6	13.4	13.1	13.2	13.7	13.4	13.9	13.2	13.6
1976	13.8	14.2	14.8	14.0	14.5	13.6	13.2	13.1	14.1	14.8	14.5	14.4	14.1
1977	14.3	14.8	15.4	15.5	15.0	14.4	14.2	14.6	14.9	15.5	15.1	14.6	14.9
1978	14.2	15.3	14.9	15.0	14.7	14.2	13.9	14.0	14.0	14.8	14.7	14.9	14.6
1979	15.2	15.1	15.6	16.0	15.7	15.5	14.9	15.2	14.7	15.6	15.8	15.2	15.4
1980	14.2	14.1	14.5	14.6	14.4	13.7	13.5	12.8	13.8	13.3	14.2	13.8	13.9
1981	14.2	15.9	15.6	15.4	15.2	15.0	14.2	14.1	13.4	14.1	15.0	13.9	14.7
1982	14.3	15.2	15.2	15.4	15.1	13.8	13.5	13.8	14.2	14.1	14.3	14.3	14.4
1983	14.0	14.3	15.0	14.6	14.9	13.7	13.5	13.5	13.7	13.5	13.9	13.5	14.0
1984		13.2	14.2	14.2	13.8	13.0	12.7	13.0	13.0	13.6	13.4	13.0	13.4
1985	13.3	12.5	14.2			12.2	12.3	12.9	13.1	13.1	13.2	13.2	13.0
1986	12.9	13.2	13.5	14.2	13.8	13.1	12.4	13.0	13.2	12.2	12.4	12.0	13.0
1991	11.6	11.9	12.1	11.9	11.7	11.3	10.4	10.6	11.1	10.7	11.2	11.6	11.3
1992	11.2	12.1	12.7	14.2	14.1	13.1	11.6	13.5	13.9	14.0	14.4	14.8	13.3
1993	14.0	14.4	14.4	14.6	14.5	13.6	13.2	13.5	13.5	13.9	14.5	14.8	14.1
1994	14.8	14.7	14.8	15.1	15.1	14.6	14.3	14.2	14.7	14.7	13.9	14.7	14.6
1995	14.5	14.8	14.9	15.2	14.5	15.1	14.6	13.7	14.2	14.3	14.0		14.5
1996	16.4	15.8	16.8		16.7	15.7	13.9	14.7	15.1	15.1	15.0	14.3	15.4
1997	14.4	14.6	15.4	15.2	15.1				14.0	15.4	14.4	13.9	14.7
1998	14.8	15.2	15.4	15.5	15.0	14.0	14.0	14.8	13.7	13.2	13.1	13.5	14.4
1999		15.6	15.0	16.4	15.2	14.4	13.9	13.9	12.8	13.6	13.6	13.5	14.4
2000	12.5	12.5	14.0	14.3	14.0	13.9	13.3	13.5	13.8	14.0	14.4	14.0	13.7
2001	13.4	13.4	13.5		13.6	13.5	12.6	13.0	13.6	13.8	14.0	14.6	13.5
2002	13.1	14.5	15.1	14.7	14.0	13.9	13.1	12.7	13.0	13.3	12.9	12.5	13.6
2003	11.1		11.9	12.9	13.0	3.0	1.7	1.7	1.9	1.8	1.7	1.6	5.7
2004	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1					0.2		0.2
2005		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2
2006			13.8	14.8	16.0	15.3	12.0	10.4	13.7	14.5	13.6	14.8	13.9
2007				14.7						13.4	13.5	14.1	13.9
2008	13.7	14.0	14.2	14.8	14.8	14.5	12.8	13.6	13.5	13.9	14.4	14.0	14.0
2009	14.4	12.8	14.6	13.0		12.7					14.4	13.7	13.7
2010	14.1	15.0	14.6	13.8	14.1	14.3	14.1	13.7	14.0	13.5	14.0	13.9	14.1
2011	13.5	14.3	12.4	12.7	13.4	12.6	12.8	13.0		13.1	13.6	13.2	13.1
2012	13.4	13.2	13.5	13.5	13.6	13.2							13.4
MEDIOS	13.3	13.4	13.7	13.7	13.6	12.8	12.4	12.6	12.9	13.1	13.0	13.1	13.1
MÁXIMOS	16.4	15.9	16.8	16.4	16.7	15.7	14.9	15.2	15.1	15.6	15.8	15.2	16.8
MÍNIMOS	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1

Información de temperatura mensual suministrada por el IDEAM

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C) ESTACIÓN : 21205740 SILOS

LATITUD	507 N	TIPO EST	CO	DEPTO	CUNDINAMARCA	FECHA-INSTALACIÓN	1974-MAR						
LONGITUD	7342 W	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	CHOCONTÁ	FECHA-SUSPENSIÓN							
ELEVACIÓN	2709 m.s.n.m	REGIONAL	BOGOTÁ	CORRIENTE	SISGA								
AÑO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1974				11.9	11.6	11.4	10.3	11.1	11.1	11.8	12.7	11.2	11.5
1975	11.4	12.0	11.8	12.3	12.3	11.3		11.5	11.7		12.6	11.8	11.9
1976			12.1	12.5	11.8	10.9	10.2	11.0	11.2	12.6	12.2	11.5	11.6
1977	11.4	12.0	12.5	12.7	12.0	11.4	11.1	11.3	11.6	12.1	12.4	11.8	11.9
1978	11.4	12.9		12.6	12.3	11.3		10.6	11.5	11.9			11.8
1979	11.7	11.9	12.7	12.7	12.5	12.0	11.2	11.6	12.0		13.1	12.0	12.1
1980	11.8	12.1	12.6	12.7	12.4	11.8	11.3	11.2	11.9	11.9	12.2	12.0	12.0
1981	11.7	12.4	12.8	12.8	12.8	12.0	10.8	11.3	11.2	12.1	12.9	11.8	12.1
1982	11.6	12.6	12.7	12.7	12.5	11.5	10.8	10.8	11.7	11.9	12.2	12.0	11.9
1983	12.6	13.0	13.2	13.2	12.9	11.8	11.4	11.2	11.4	12.1	12.2	11.7	12.2
1984	11.4	11.9	12.6	12.6	12.2	11.2	10.7	11.3	11.4	12.2	12.3	11.5	11.8
1985	11.8	11.3	12.3	12.6	12.0	10.7	10.6	11.1	11.6	12.1	12.2	11.5	11.7
1986	11.4	11.9	12.2	12.5	12.4	11.6	10.4	11.0	11.6	12.6	12.5	11.4	11.8
1987	11.6	12.2	12.9	12.7	12.6	11.8	11.8	11.6	12.1	12.8	12.3	11.6	12.2
1988	11.2	12.6	12.2	12.7	12.2	11.8	11.2	11.7	11.6	12.1	12.5	11.6	12.0
1989	11.4	11.4	11.9	12.2	11.8	11.3	10.8	11.4	12.0	12.3	12.8	12.1	11.8
1990	12.2	12.9	12.4	13.1	12.6	11.5	11.4	11.5	11.6	12.8	12.4	12.4	12.2
1991	12.0	12.2	12.7	12.3	12.8	12.5	11.3	10.9	11.8	11.9	12.8	12.3	12.1
1992	12.2	12.8	13.5	13.4	12.8	12.1	11.3	11.7	11.8	11.7	12.6	12.5	12.4
1993	12.3	12.9	12.9	13.1	13.0	11.9	11.9		12.2	12.6	*		12.5
1995				12.9	12.4	12.3	11.8	12.3	11.9	12.0	12.6	11.9	12.2
1996	11.2	11.9	12.8	12.4	12.9	12.6	11.7	12.2	12.2	12.8	13.0		12.3
1997						11.7							11.7
1998	13.1												13.1
1999													
2000													
2001			12.3	12.2	12.6	11.2	11.2	11.0	12.0	12.8	12.7	13.2	12.1
2002	12.0	13.1	12.9	12.9	12.7	11.7	11.7	11.2	11.9	12.3	11.9	12.3	12.2
2003		*	12.9	12.6	12.2	12.1	11.4	11.8	11.8	12.7	12.7		12.2
2004								11.3	11.8	12.6	12.9	12.6	12.2
2005	12.8	13.0	13.9	13.1	13.1	12.1	11.7	11.6	11.9	12.4	13.1	13.1	12.7
2006	12.9	12.9	12.6	12.5	12.6	12.0	11.4	11.8	12.1			12.5	12.3
2007	12.4	12.5	12.7	13.2	12.9	11.9	11.6	11.8	11.7	12.6	12.2	12.6	12.3
2008	11.8	12.3	12.4	12.8	12.6	12.0	11.6	12.2	12.1	12.5	13.0	12.7	12.3
2009	12.6	12.4	12.6	12.9	12.6	12.1	11.9	12.5	12.3	12.7	13.0	12.7	12.5
2010	12.3	14.2	13.9	13.9	14.1	12.9	12.6	12.5	13.1	13.0	13.3	13.0	13.2
2011	12.8	13.0	13.1	13.4	13.4	12.9	12.1	12.6	12.2	13.1	13.7	13.2	13.0
2012	12.7	12.2	12.4	12.9	12.5	12.1	11.7	12.0	11.8	12.6	13.0	12.8	12.4
2013	12.8	12.9	12.6	13.1	12.9	12.6	11.5	12.2	12.6	12.8	13.3	12.5	12.7
2014	12.5	12.9	13.0	12.4	12.8	11.6	11.3	11.4	12.4	12.3	12.5	11.6	12.2
2015	11.4	11.6	12.2	11.9	12.2	11.2	11.9	12.0	12.5	12.7			12.0
MEDIOS	12.0	12.4	12.7	12.7	12.6	11.8	11.3	11.6	11.9	12.4	12.7	12.2	12.2
MÁXIMOS	13.1	14.2	13.9	13.9	14.1	12.9	12.6	12.6	13.1	13.1	13.7	13.2	14.2
MÍNIMOS	11.2	11.3	11.8	11.9	11.6	10.7	10.2	10.6	11.1	11.7	11.9	11.2	10.2

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)

ESTACIÓN : 35065010 GACHETA

LATITUD	449	N		TIPO EST	CO	DEPTO	CUNDINAMARCA	FECHA-INSTALACIÓN	1972-SEP				
LONGITUD	7338	W		ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	GACHETÁ	FECHA-SUSPENSIÓN					
ELEVACIÓN	1752	m.s.n.m		REGIONAL	BOGOTÁ	CORRIENTE	GACHETÁ						
AÑO	ENE	FEB	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1972									17.5	17.5	18.0	17.6	17.7
1973	18.0	19.0	19.1	18.3	17.6	17.4	16.8	17.4	17.4	17.6	18.2	17.2	17.8
1974	17.1	17.9	18.2	18.0	17.4	17.2	16.7	17.4	17.4	17.5	18.2	16.9	17.5
1975	17.4	18.3	17.7	17.8	17.8	16.9	16.9	17.0	17.2	17.4	18.1	17.0	17.5
1976	16.8	17.7	18.1	18.4	17.9	17.0	16.5	16.7	17.3	18.3	17.8	17.4	17.5
1977	17.5	18.2	18.5	18.6	17.9	17.5	17.0	17.6	17.6	18.5	18.2	17.8	17.9
1978	17.3	19.2	18.7	18.8	18.5	18.0	17.6	17.7	18.1	18.4	18.5	18.4	18.3
1979	18.5	19.1	19.1	19.7	19.0	18.9	18.0	18.2	18.6	19.1	19.1	18.4	18.8
1980	18.7	19.0	19.5	19.1	19.3	18.7	18.2	17.8	18.7	18.9	18.9	18.6	18.8
1981	18.5	19.2	19.7	19.7	19.7	18.9	18.3	18.1	18.4	19.1	19.7	18.8	19.0
1982	18.9	19.5	19.3	18.9	19.3	18.5	17.5	17.8	18.7	19.0	18.7	18.9	18.8
1983	19.4	19.7	20.2	19.8	19.5	18.5	18.4	18.1	18.7	19.3	19.2	18.8	19.1
1984	18.4	19.3	19.7	19.8	18.9	17.9	18.3	18.7	18.6	18.7	18.9	18.3	18.8
1985	18.6	18.5	19.4	19.3	18.8	18.1	17.8	18.2	18.6	18.7	18.8	18.4	18.6
1986	18.7	18.9	19.3	19.6	19.2	18.4	17.2	18.1	18.5	19.1	19.3	19.0	18.8
1987	19.0	19.5	20.8	20.4	19.4	18.8	19.0	18.8	19.0	19.6	20.1	19.9	19.5
1988	20.9	21.8	21.2	20.7	19.8	19.4	18.7	19.8	19.8	19.8	19.2	18.5	20.0
1989	18.5	18.7	19.0	18.7	19.3	18.0	18.3	18.6	19.6	19.6	20.5	19.6	19.0
1990	19.4	19.5	19.0	18.7	19.3	18.5	18.4	18.7	18.9	19.7	19.6	19.1	19.1
1991	19.2	20.1	19.6	19.4	19.5	18.9	17.9	17.9	18.8	18.5	19.0	19.4	19.0
1992	19.1	19.7	20.5	19.9	19.5	18.5	17.7	18.5	18.4	18.5	18.8	19.1	19.0
1993	18.8	19.5	19.2	19.6	19.6	18.5	17.9	18.2	18.4	18.9	19.3	18.5	18.9
1994	18.8	19.1	19.1	18.8	19.2	18.2	17.9	17.7	19.0	19.4	19.3	19.8	18.9
1995	19.5	19.7	19.5	19.9	19.4	19.5	19.1	19.4	19.7	19.6	19.7	19.4	19.5
1996	19.7	19.3	19.8	19.8	19.6	19.7	19.2	19.4	19.3	19.7	19.9	19.5	19.6
1997	20.5	19.9	21.0	19.9	19.3	19.5	18.2	19.1	20.0	20.9	20.5	20.4	19.9
1998	21.0	21.4	20.9	21.4	20.7	19.4	19.1	19.5	20.2	20.5	20.0	19.7	20.3
1999	19.5	19.7	19.7	19.4	19.2	19.6	18.8	19.5	19.9	20.1	20.9	20.6	19.7
2000	20.2	20.3	20.3	19.6	19.2	19.4	19.1	19.0	19.7	19.9	20.3	19.2	19.7
2001	19.0	19.4	19.6	19.0	19.5	18.4	18.4	18.6	19.5	20.3	20.2	20.2	19.3
2002	19.2	20.7	19.5	18.9	19.6	19.2	18.7	18.7	19.0	19.0	18.4	19.0	19.2
2011		18.7	18.6	18.8	19.0	18.7	18.0	18.4	17.9	18.5	18.9	18.4	18.5
2014	18.5	19.1											18.8
2015											18.4	17.6	18.0
2016	19.2												19.2
MEDIOS	18.9	19.4	19.5	19.3	19.1	18.5	18.1	18.3	18.7	19.1	19.2	18.8	18.9
MÁXIMOS	21.0	21.8	21.2	21.4	20.7	19.7	19.2	19.8	20.2	20.9	20.9	20.6	21.8
MÍNIMOS	16.8	17.7	17.7	17.8	17.4	16.9	16.5	16.7	17.2	17.4	17.8	16.9	16.5

Anexo 2 – Modelación Hidráulica usando el Programa Computacional HEC - RAS

La información perteneciente a este archivo es mostrada a través de medio magnético. Los archivos presentados deben abrirse mediante el programa computacional HEC - RAS.

Anexo 3 – Manual de Uso del Programa Computacional PHABSIM

1. CREACIÓN DE UN PROYECTO

Con base en el Anexo I de (Gómez Cortés & Mosquera Cordoba, 2010) “Guía de Usuario para el Manejo del Software PHABSIM”, se realiza el manual de uso del programa computacional PHABSIM con el fin de comprender de una mejor manera el funcionamiento, las características y los parámetros usados por el programa PHABSIM para realizar las modelaciones de caudal.

En primer lugar, al momento de abrir de programa se encuentra una pantalla de inicio como la presentada en la Figura 3-1.

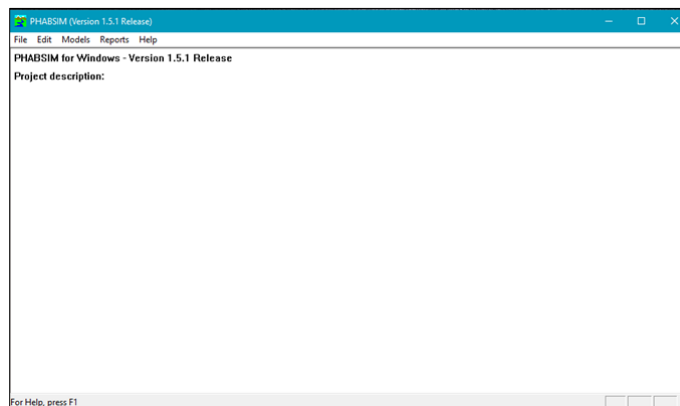


Figura 3-1

A continuación, se debe crear un nuevo proyecto con la opción *File > New Project*.

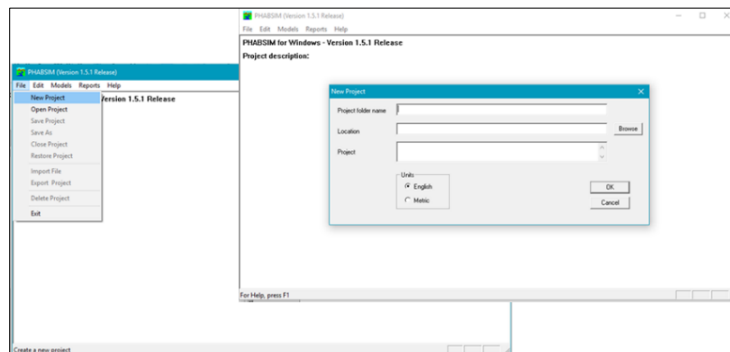


Figura 3-2

Para crear un nuevo proyecto se debe suministrar al programa datos como:

- *Project folder name*: Nombre del proyecto.
- *Location*: Dirección en la cual se desea guardar el proyecto.
- Una pequeña descripción del proyecto, la cual se limita a 256 caracteres: *Project*.
- *Units*: Unidades con las cuales se quiere trabajar; *English* para trabajar en el sistema inglés o *Metric* si se quiere trabar en el sistema internacional.

2. INTRODUCCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL CAUCE

Después de haber creado el proyecto, se ingresan los datos con los cuales se va a realizar la modelación. En primer lugar, se deben ingresar los datos para la construcción de las secciones transversales con la opción *Edit > Cross Sections* tal y como se presenta en la Figura 3-3.

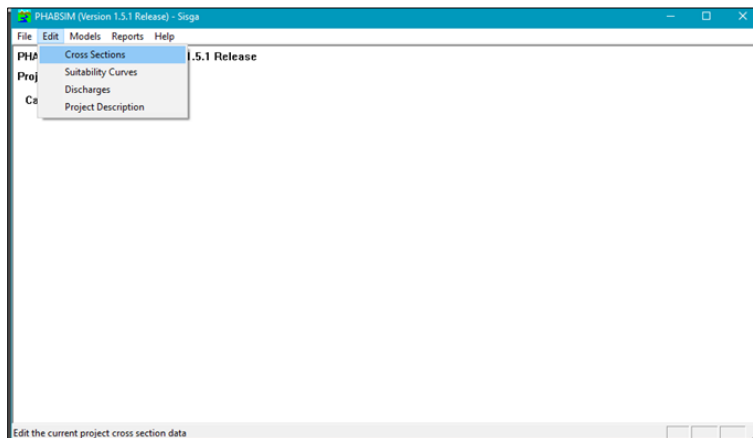


Figura 3-3

Cuando se activa esta opción, se presenta una ventana con tres pestañas *Cross Section Data*, *Calibration Data* y *Coordinate Data*, como la presentada en la Figura 3-4. En esta ventana se van a ingresar los datos necesarios para la construcción de las secciones transversales del río en estudio.

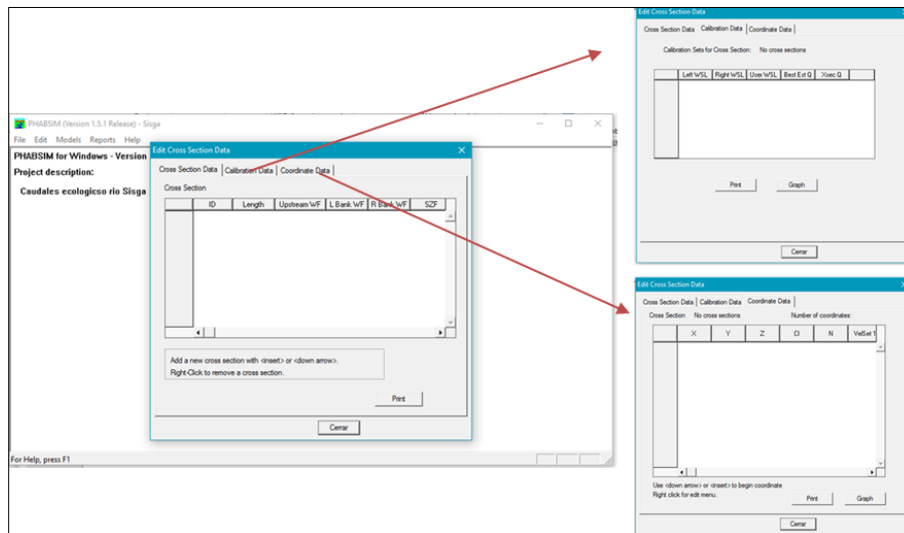


Figura 3-4

Para comenzar a introducir las secciones transversales, en la pestaña *Cross Section Data* se debe oprimir en el teclado la “flecha abajo”, cada vez que se oprime la “flecha abajo” se va a generar una nueva fila en donde se ingresan los datos de una nueva sección transversal. Los datos requeridos para la construcción de las secciones son:

- *ID*: Número de identificación de la sección. Se aconseja nombrar la sección con el número de la abscisa que le corresponde; además es necesario tener en cuenta que la sección que se ubica aguas arriba debe tener el *ID* más alto (la abscisa mayor), mientras que la sección ubicada más aguas abajo se nombra con el *ID* más bajo (la abscisa menor).
- *Length*: Distancia entre la sección creada y la sección inmediatamente aguas abajo.
- *Upstream WF*: Factor de ponderación de banco izquierdo y derecho, con el cual se pueden acomodar las distancias reales de la orilla izquierda y derecha para preservar la orientación espacial de la sección transversal.
- *L Bank WF*: En caso de presentarse una curva en el tramo del río en estudio se debe proporcionar el dato de lo que representa la sección del río en la curva por margen izquierda.

- *R Bank WF*: En caso de presentarse una curva en el tramo del río en estudio se debe proporcionar el dato de lo que representa la sección del río en la curva por margen derecha.
- *SZF*: Elevación de la superficie del agua en una sección transversal cuando el flujo o caudal es igual a cero, es el punto más bajo de la superficie del agua.
- *N*: Valor del coeficiente de rugosidad de Manning.
- *beta/D₅₀*: El tamaño medio de las partículas del sustrato (mm) relacionado con el Beta.
- *Slope*: Finalmente se suministra el valor de la pendiente de la energía en la sección transversal (pendiente de la superficie del agua).

Si se requiere calibrar el modelo, en la pestaña *Calibration Data* se encuentran las siguientes casillas:

- *Left WSL*: Nivel de agua para la margen izquierda.
- *Right WSL*: Nivel de agua para la margen derecha.
- *User WSL*: Nivel de agua medido u observado en una condición determinada.
- *Best Est Q*: Caudal máximo medido u observado para la condición de nivel determinada.
- *Xsec Q*: Caudal medio medido u observado para la condición de nivel determinada.

Finalmente se encuentra la pestaña *Coordinate Data* la cual muestra las siguientes opciones:

- *X*: Valores de la coordenada X para la sección transversal seleccionada.
- *Y*: Valores de la coordenada Y para la sección transversal seleccionada, estos valores son calculados por el programa y se presentan en la columna Y de color gris.
- *Z*: Valores de la coordenada Z para la sección transversal seleccionada.
- *Ct*: índice del canal.
- *Vel@1.00*: Velocidad media medida en un punto específico.

3. INTRODUCCIÓN DE LAS CURVAS DE PREFERENCIA

Para comenzar a introducir las curvas de preferencia en la opción *Edit* se debe seleccionar la opción *Suitability Curves*, como se presenta en la Figura 3-5.

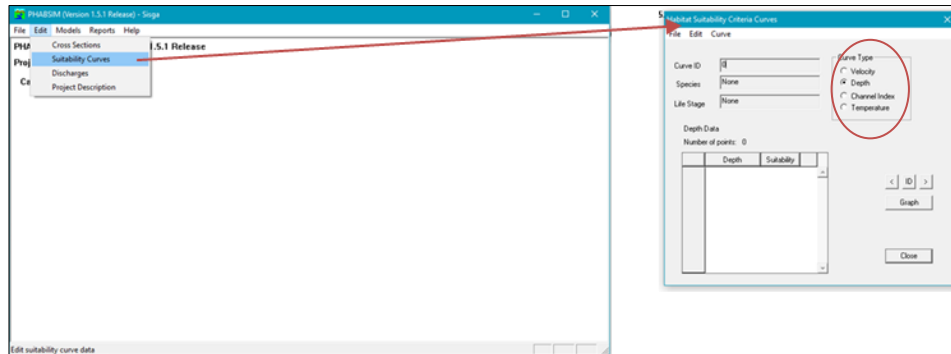


Figura 3-5

En esta opción se presentan cuatro tipos de curvas: velocidad, profundidad, tipo de lecho y temperatura como se observa en la sección encerrada en un círculo en la Figura 2-5.

Para introducir los datos de las curvas de preferencia se debe seleccionar el tipo de curva que se quiere graficar. Luego se selecciona la opción *Edit > Add* (Ver Figura 2-6) con el fin de introducir los siguientes datos:

- *ID*: Número de identificación de la curva.
- *Species*: Nombre de la especie en estudio.
- *Life Stage*: Nombre del hábitat de la especie.

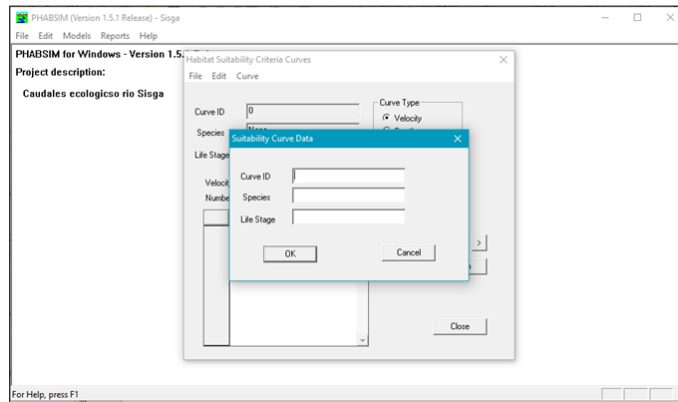


Figura 3-6

Al igual que para la creación de las secciones transversales, en la zona llamada *Number of Ponits*, se debe oprimir en el teclado la “flecha abajo”, cada vez que se oprime la “flecha abajo” se va a generar una nueva fila en donde se ingresan los datos de un nuevo punto de la curva que se está introduciendo. Se debe tener en cuenta que a pesar de que la información de algunas curvas de preferencia no comienza con el valor de cero (0) y termina en cien (100), para que el programa no genere errores y pueda realizar exitosamente la modelación del hábitat cada una de las curvas ingresadas al programa debe comenzar con cero (0) y terminar con el valor de cien (100)

Finalmente, para observar la gráfica de una curva de preferencia determinada, se procede a usar la pestaña *Curve* la cual se encuentra dentro de la ventana donde se crean las curvas de preferencia.

4. INTRODUCCIÓN DE LOS CAUDALES

Para introducir los caudales de simulación, con los cuales se desea realizar la modelación, se debe seguir la ruta *Edit > Discharges* tal y como se presenta en la Figura 3-7.

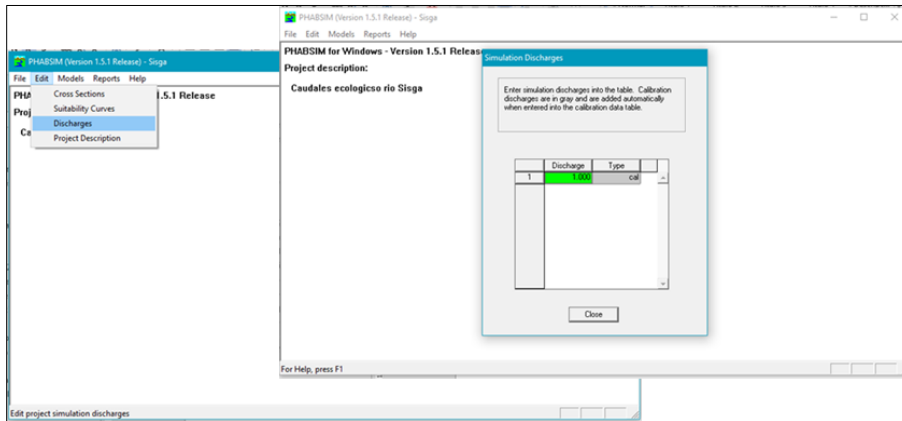


Figura 3-7

En la ventana que se despliega, *Simulate Discharges*, se pueden observar en color gris los caudales que fueron introducidos en la opción *Calibration Data* los cuales son *Type: cal*. Para agregar nuevos caudales (caudales de simulación) se debe oprimir en el teclado la “flecha abajo” y estos serán *Type: sim* (Ver Figura 3-8).

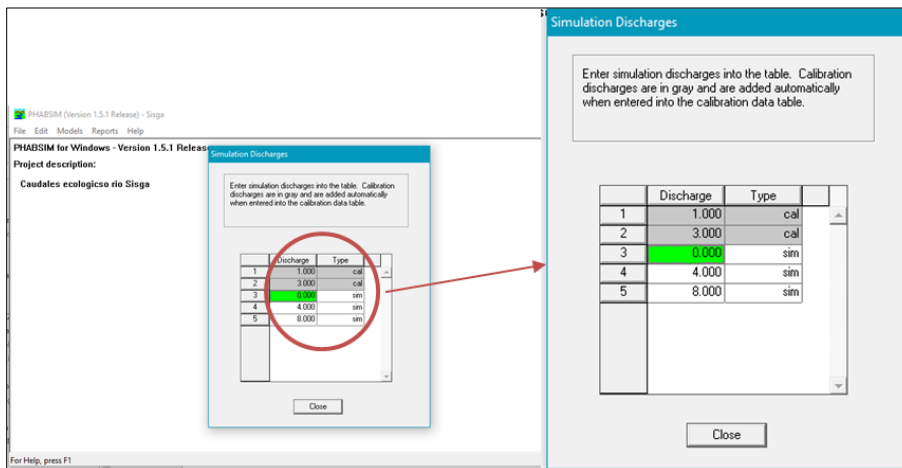


Figura 3-8

5. SIMULACIÓN DE LA ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA

Conociendo cada uno de los modelos usados por PHABSIM (Capítulo 4.1) para la simulación de la lámina de agua se debe ir a *Models* y seleccionar la opción *WSL*, en donde

se despliega una ventana con las pestañas *Method*, *Output Options*, *STGQ Options*, *MANSQ Options* y *Results*.

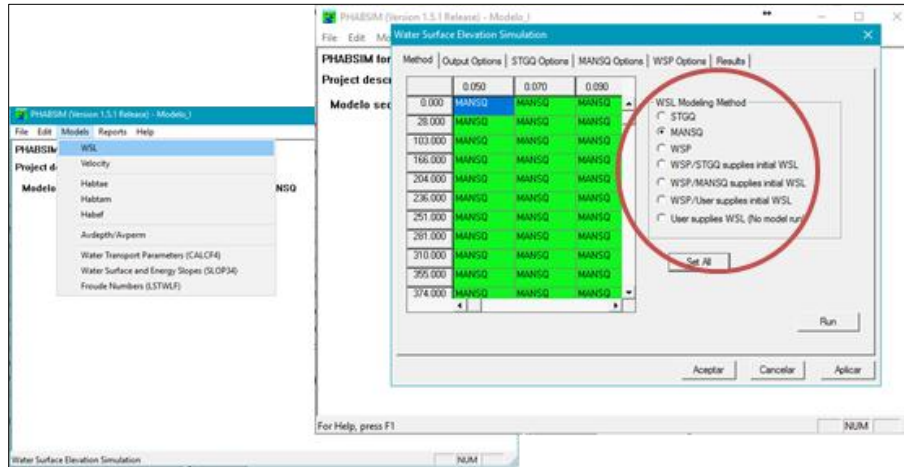


Figura 3-9

En esta ventana se debe escoger el método con el cual va a realizar la modelación. En la Figura 3-9 se observan 6 opciones de métodos para la modelación, estas opciones se refieren los tres modelos de simulación hidráulica disponibles: STGQ, MANSQ, WSP y sus combinaciones posibles.

Por otro lado, en la pestaña *Output Options* se deben seleccionar los caudales con los cuales se quiere realizar la modelación, en la Figura 3-10 se presenta el contenido de esta pestaña.

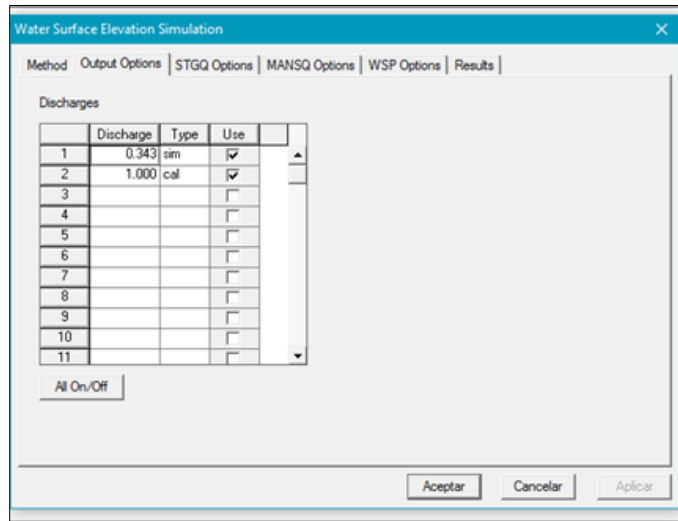


Figura 3-10

La siguiente pestaña correspondiente a *STGQ Options*, se seleccionan las opciones de modelación por medio del método STGQ, la cual consiste en seleccionar si se quiere modelar con el caudal medio o una distancia x en una determinada sección.

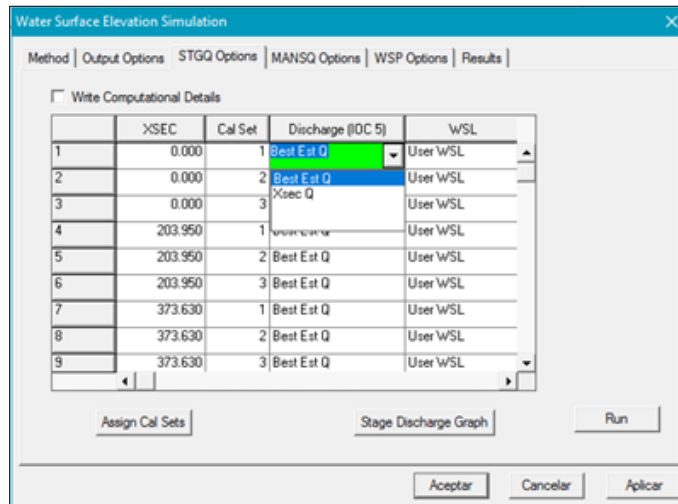


Figura 3-11

Por otro lado, en la pestaña *MANSQ Options*, se seleccionan las opciones de modelación por medio del método MANSQ, que como se mencionó anteriormente, se puede seleccionar

el tipo de ecuación para la calibración, la realización del cálculo de velocidad (Manning o Chezy), si se quiere modelar con el caudal medio o una distancia x en una determinada sección, entre otros. Estas opciones se pueden observar en la Figura 3-12.

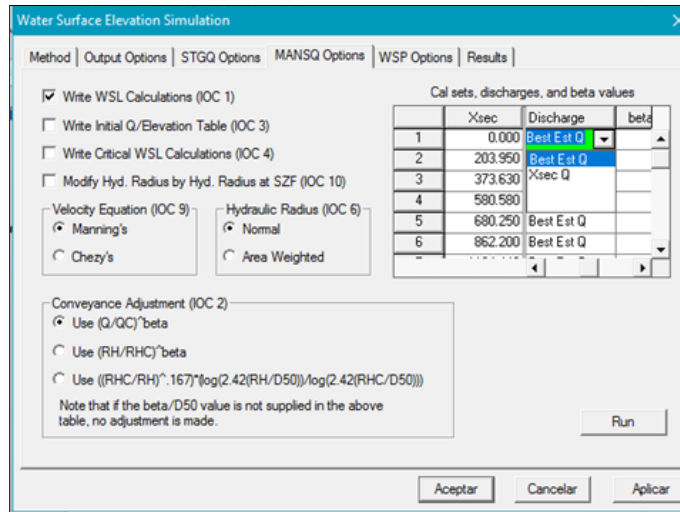


Figura 3-12

En la pestaña siguiente, *WSP Options*, se seleccionan las opciones de modelación por medio del método WSP como se realiza con los modelos anteriores.

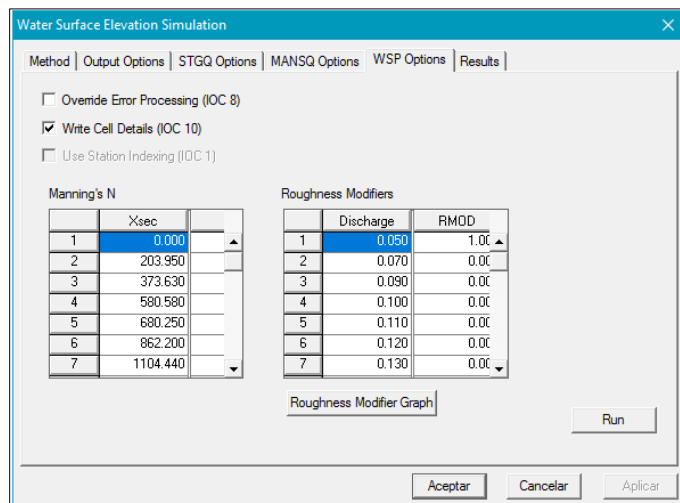


Figura 3-12

Finalmente, en la pestaña *Results* se presentan los resultados de la modelación de la altura de la lámina de agua realizada. Como se observa en la Figura 3-13, se presenta el valor de la lámina de agua para cada uno de los caudales suministrados al programa en cada una de las secciones transversales, además, se puede seleccionar la opción para observar la comparación de los resultados arrojados por el caudal observado y el caudal simulado, así como la opción de observar los resultados mediante una gráfica.

The screenshot shows a software window titled "Water Surface Elevation Simulation" with a "Results" tab selected. The window contains a table with the following data:

	0.050	0.070	0.090	0.100
0.000	2598.280	2598.296	2598.310	2598.318
203.950	2598.790	2598.816	2598.838	2598.848
373.630	2599.100	2599.132	2599.158	2599.170
580.580	2599.370	2599.402	2599.427	2599.439
680.250	2599.810	2599.833	2599.852	2599.861
862.200	2600.510	2600.529	2600.545	2600.553
1104.440	2600.520	2600.632	2600.728	2600.771
1314.690	2600.520	2600.601	2600.671	2600.703
1458.850	2600.570	2600.589	2600.604	2600.611
1547.840	2600.570	2600.764	2600.925	2600.996

Additional interface elements include a "Table Type" section with radio buttons for "WSL" (selected) and "Cal. Comparison", a "Clear Results" button, and a bottom bar with "Print", "Cross Section", "Longitudinal", "Aceptar", "Cancelar", and "Aplicar" buttons.

Figura 3-13

6. SIMULACIÓN DE LA VELOCIDAD

Luego de realizar la simulación de la lámina de agua para cada una de las secciones transversales, se realiza la simulación de la velocidad, los cuales son los parámetros requeridos para la simulación del hábitat.

Para comenzar se debe ir a *Models* y seleccionar la opción *Velocity*, en donde se despliega una ventana con las pestañas *Options*, *Velocity Calibration Set Assignments*, *Velocity Regression*, *Results* y *VAF*.

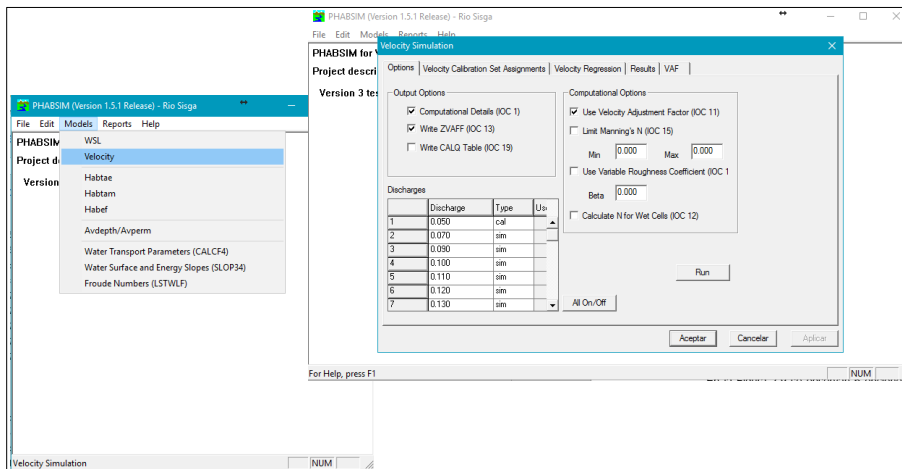


Figura 3-14

Para realizar la modelación de la velocidad se usa el método VELSIM por medio del cual se simula la distribución de velocidades dentro de una sección transversal para cada uno de los caudales de simulación.

En la Figura 3-15 se presenta las opciones que se encuentran dentro de la pestaña *Options*, las cuales son:

- *Output Options*. Dentro de esta opción se encuentran diferentes opciones que permiten escoger la forma en que se desean ver los resultados. Estas opciones son las siguientes:
 - ✓ *Computational Details*: Esta opción proporciona los resultados de niveles de agua y velocidades calculadas de forma numérica en un archivo tipo *.txt* llamado ZOUT.
 - ✓ *Write ZVAFF*: Esta opción permite ver el resumen de los factores de ajuste realizados a la velocidad.
 - ✓ *Write CALQ table*. Proporciona una tabla con el resumen de los caudales calculados.

- *Computational Options.* Dentro de esta opción se encuentran diferentes opciones que hacen parte del cálculo de la velocidad. Estas opciones son:
 - ✓ *Use Velocity Adjustment Factor.* Esta opción permite elegir si se quiere aplicar el ajuste de velocidad (VAF). Se recomienda dejarla siempre marcada, ya que se pueden presentar errores en el cálculo.
 - ✓ *Limit Manning's N:* Permite proporcionar valores para limitar el valor máximo o mínimo del coeficiente de rugosidad de Manning, N.
 - ✓ *Use Variable Roughness Coefficient:* Esta opción permite ajustar el valor de la rugosidad para realizar el cálculo de la velocidad. El valor de β debe ser suministrado por el usuario.
 - ✓ *Calculate N for Wet Cells:* en esta opción se tiene la posibilidad de variar la rugosidad en cada celda de las secciones. En caso de no seleccionar ésta opción, el programa usa para el cálculo los valores de rugosidad N de Manning proporcionados en la sección *Cross Section*.
- *Discharges.* Dentro de esta opción se seleccionan los caudales con los cuales se quiere hacer la simulación de la velocidad.

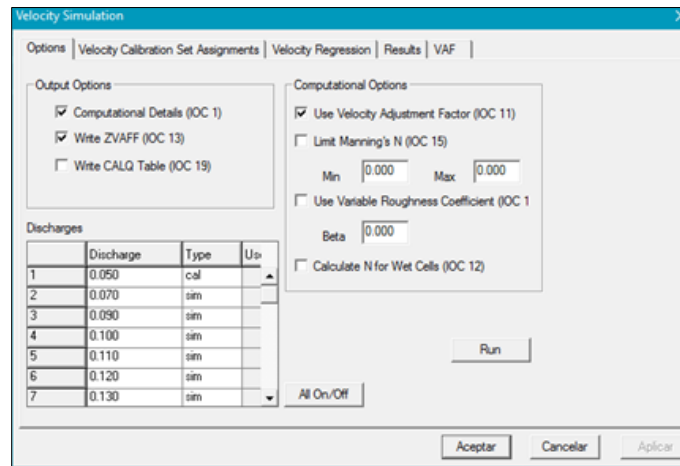


Figura 3-15

Por otro lado, en la Figura 3-16 se presenta la pestaña *Velocity Calibration Set Assignments*, en la cual teniendo en cuenta los valores de calibración de la velocidad, a los valores de simulación se les asigna el número 1, 2 o 3 dependiendo a cual de los caudales de calibración se asemejan, es decir, si se tienen valores de calibración de 0.1, 0.5 y 0.9 m/s y una velocidad de simulación de 0.2 m/s, a este valor se le asigna el número 1 debido a que se asemeja o se acerca a la velocidad de calibración de 0.1 m/s.

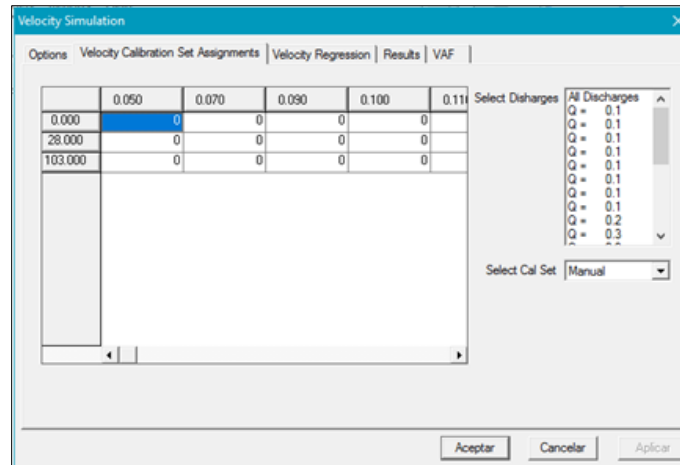


Figura 3-16

La siguiente pestaña que se encuentra en la simulación de la velocidad es *Velocity Regression* en la cual se puede seleccionar si se quiere calcular la velocidad de todos los caudales usando una regresión lineal de dos puntos. Se debe tener en cuenta que los valores generados con al ejecución de esta pestaña reemplazaran los valores calculados generados en la pestaña *Options*. En la siguiente figura se presenta la pestaña *Velocity Regression*.

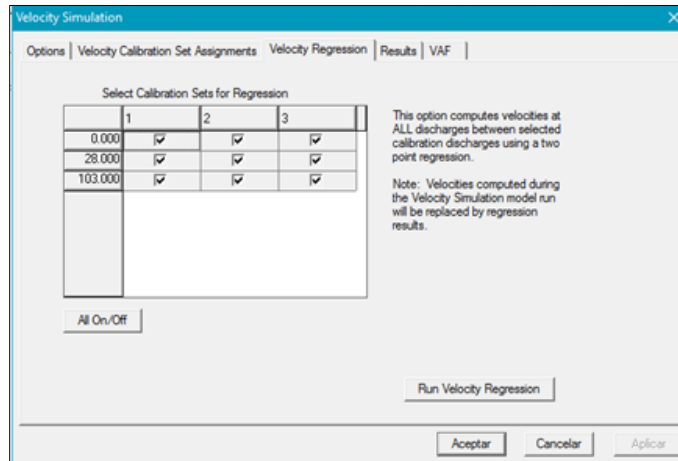


Figura 3-17

La pestaña *Results* muestra los resultados de la simulación de la velocidad, presentado los valores de velocidad y de N de Manning para cada caudal y para cada una de las secciones. Los resultados se pueden observar en la tabla generada o en gráfico para cada sección transversal (Figura 3-18 y 3-19 respectivamente).

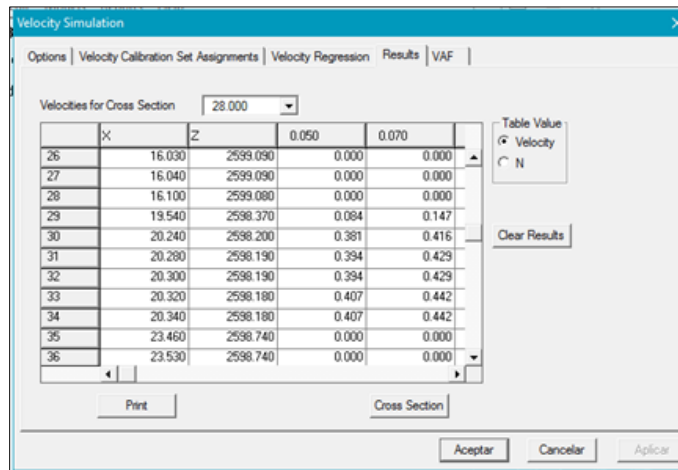


Figura 3-18

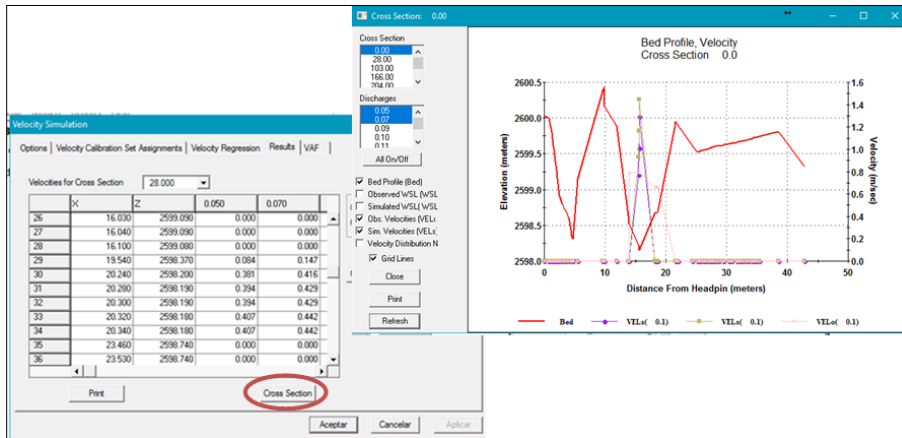


Figura 3-19

Finalmente, se encuentra la pestaña VAF en la cual se presenta a manera de tabla y de gráfico para cada sección los valores del Factor de Ajuste de la Velocidad (VAF). Según (USGS, 2001), el VAF es “Un índice de la diferencia entre el caudal de simulación solicitado y el caudal calculado derivado de las simulaciones de velocidad”.

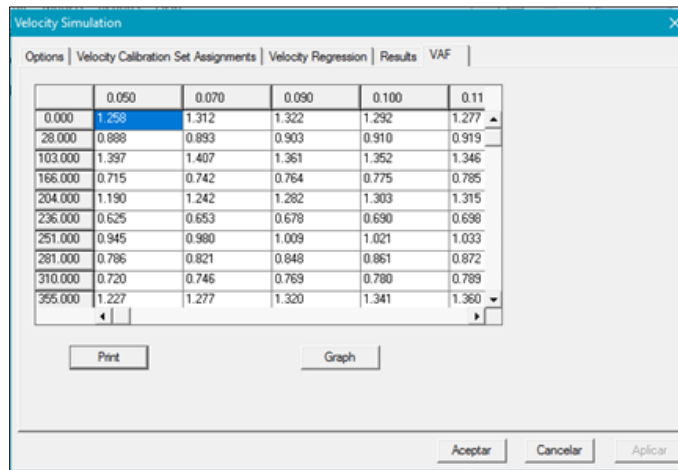


Figura 3-20

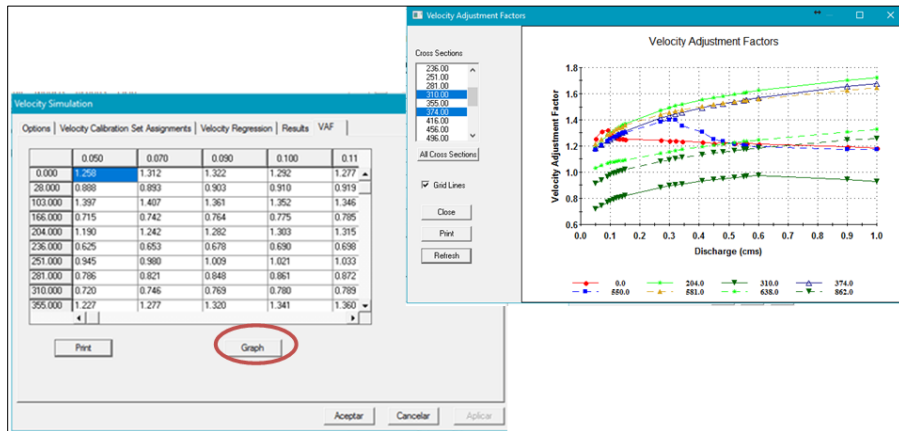


Figura 2-21

7. SIMULACIÓN DEL HÁBITAT

Para realizar la simulación del hábitat, PHABSIM cuenta con 3 modelos: HABTAE, HABTAM y HABEF explicados en el Capítulo 4.1.

En primer lugar, para modelar el hábitat mediante el modelo HABTAE se debe seguir la ruta *Models / Habtae* en donde se abrirá una ventana con las opciones *Output Options*, *Computations*, *Limits*, *Life Stages*, *Velocity Replacement Opciones*, *Adjacent Velocity*, *Habitat Results* y *WUA Results* (Figura 3-22).

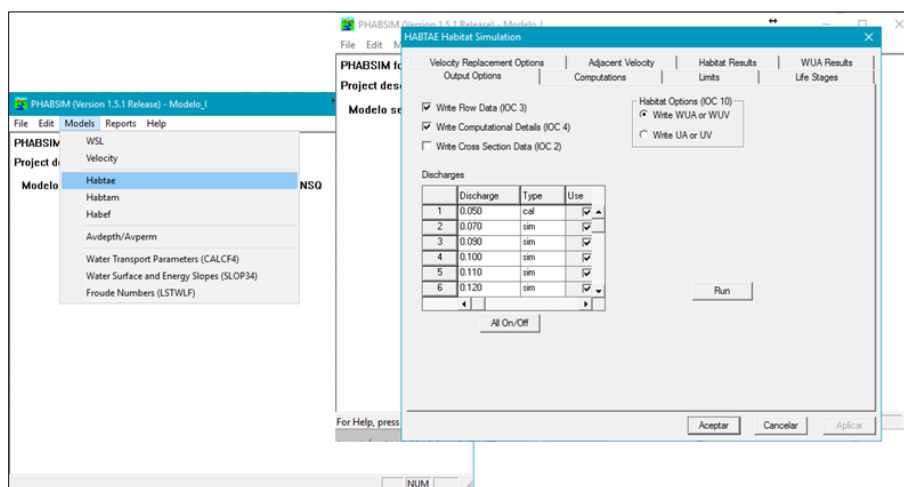


Figura 3-22

En la Figura 3-23 se presenta las opciones que se encuentran dentro de la pestaña *Output Options*, las cuales son:

- *Write Flow Data*: Cuando se selecciona esta casilla el programa proporciona los resultados de la modelación hidráulica forma numérica en un archivo ZOUT. Es recomendable dejar la casilla sin seleccionar en caso de no ser necesario imprimir los resultados.
- *Write Computational Details* : Esta casilla permite guardar los detalles computacionales del cálculo del Área Utilizable Ponderada, WUA (Weighted Usable Area), el área de lecho útil ponderada, WUBA (Weighted Usable Bed Area) o el volumen útil ponderado, WUV (Weighted Usable Volume) en un archivo ZOUT. Es recomendable dejar la casilla sin seleccionar en caso de no necesitar detalles de la simulación realizada.
- *Write Cross Section Data*: Por medio de esta casilla el programa permite guardar en un archivo ZOUT los datos de cada una de las secciones transversales, al igual que la información generada en *Edit / Cross Section*.
- *Habitat Options*: Por medio de esta opción se elige las opciones de simulación de hábitat. Se presentan dos opciones de modelación: la primera es usando WUA o WUV y la segunda es usando el área o volumen útil, UA y UV respectivamente.
- *Discharges*. Dentro de esta opción se seleccionan los caudales con los cuales se quiere hacer la simulación del hábitat.
- *Run*: esta opción sirve para hacer la corrida de la modelación del hábitat.

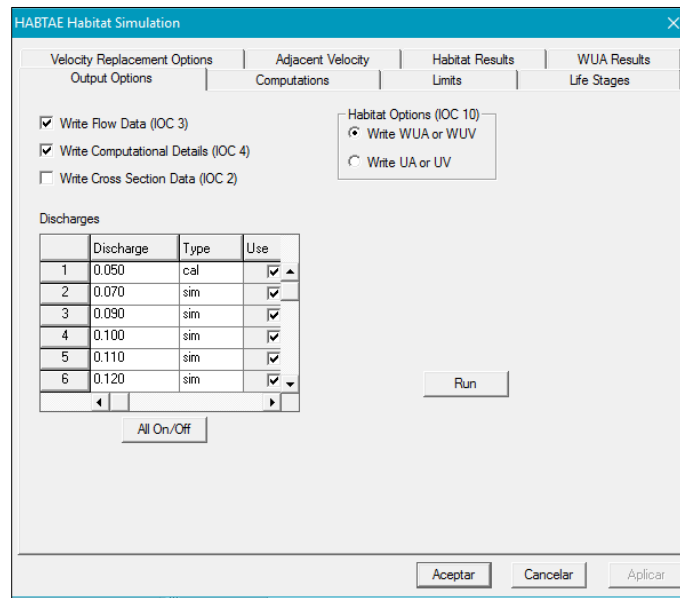


Figura 3-23

Por otro lado, las opciones que se encuentran dentro de la pestaña *Computations* son las siguientes:

- *Describe Reach Bends*: permite variar al longitud entre las celdas de las secciones transversales.
- *Use a Minimun Contiguous Width (Enter the WMIN value on the velocity. Replacement options tab)*: Permite usar un ancho mínimo de celda, cuyo valor debe ser introducido en las opciones de velocidad.
- *Near Shore Habitat Analysis*: esta opción se usa para definir un hábitat adecuado para organismos (terrestres y/o acuáticos) que se encuentren a una distancia determinada de la orilla del cuerpo de agua y que requieran de una combinación de profundidad y velocidad.
- *WUA Calculations*: mediante esta opción el programa permite seleccionar si se quiere calcular el WUA, WUV o WUBA para secciones de forma independiente o para tramos compuestos.
- *Habitat Calculations*: permite seleccionar la forma en la cual se va a realizar el cálculo del hábitat. Se presentan tres opciones de cálculo:

- ✓ *Standard calculation:* mediante esta opción el cálculo del área del hábitat se realiza “multiplicando los valores de los pesos de área obtenidos para el caudal que está modelando, en cada una de las curvas de preferencia (velocidad, profundidad y sustrato)” (Gómez Cortés & Mosquera Cordoba, 2010), mediante la siguiente ecuación:

$$CF = f(v) * g(d) * h(ci)$$

- ✓ *Geometric Mean:* media geométrica, cuya ecuación es la siguiente:

$$CF = (f(v) * g(d) * h(ci))^{0.333}$$

- ✓ *Lowest Limiting Parameter:* mediante esta opción, el hábitat disponible se toma como el valor mínimo de las curvas de preferencia para el caudal que se está modelando. La ecuación de este método se presenta a continuación:

$$CF = MIN f(v) * g(d) * h(ci)$$

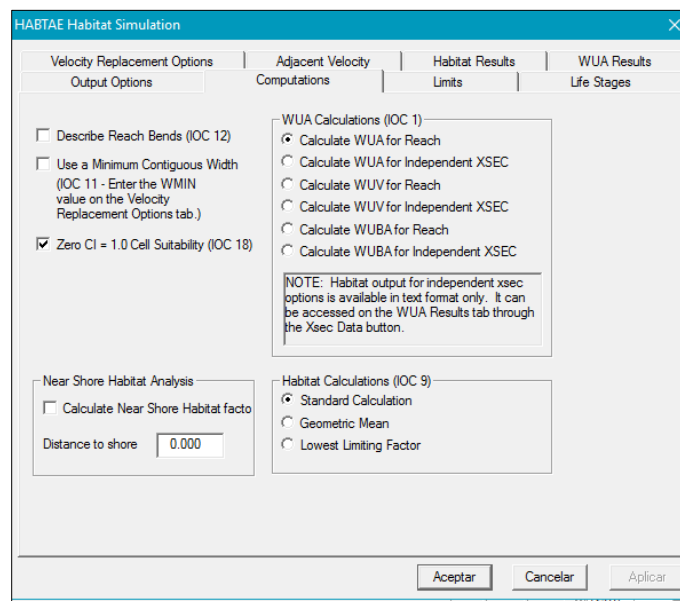


Figura 3-24

En la siguiente pestaña *Limits*, se presentan dos opciones:

- *Velocity Limits*: esta opción limita el valor de la velocidad en el cálculo del hábitat. Dentro de esta opción se puede seleccionar:
 - ✓ Calcular el hábitat sin restricción de la velocidad.
 - ✓ Calcular el hábitat eliminando las velocidades menores a 0 y mayores a 15.
 - ✓ Calcular el hábitat sin tener en cuenta valores de velocidad mayores a 15 y convirtiendo los valores negativos a positivos.
- *Minimum Effective Composite Suitability Factor*: esta opción limita el cálculo del WUA por medio de la velocidad, también se puede establecer un límite por hábitat mínimo disponible en cada sección.

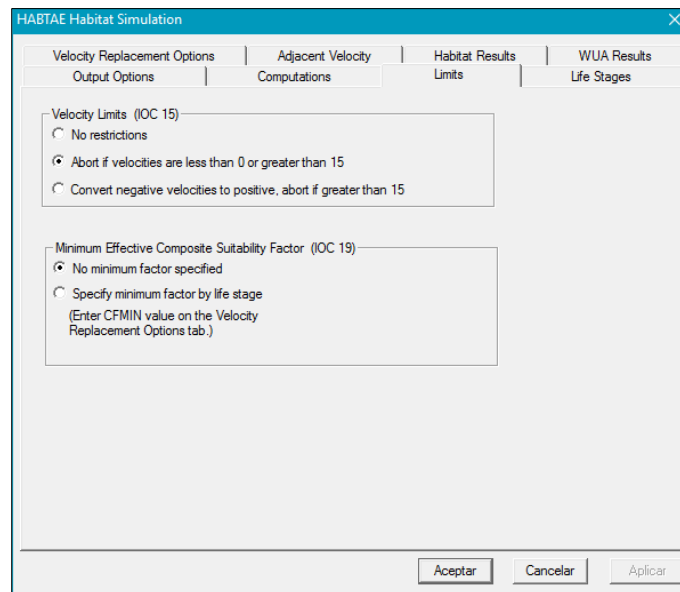


Figura 3-25

Por otro lado, como se muestra en la Figura 3-26, en la pestaña *Life Stages* se puede seleccionar la(s) etapa(s) de vida o curvas de preferencia de las especies en estudio con las cuales se quiere llevar a cabo la modelación del hábitat.

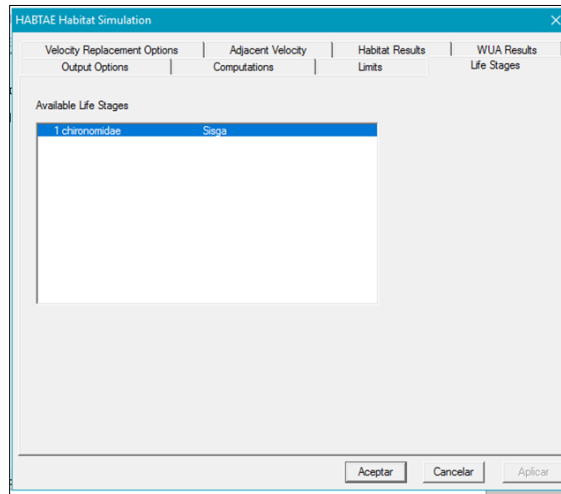


Figura 3-26

La siguiente pestaña se llama *Velocity Replacement Options*. En esta opción se pueden establecer un limite en la variacion de la velocidad entre las secciones. En caso de no querer esta variación, se deben dejar todas las casillas en cero. Sin embrago, existen valores con los cuales se le asigna al programa las diferentes variaciones de velocidad las cuales se pueden encontrar con más detalle en (USGS, 2001).

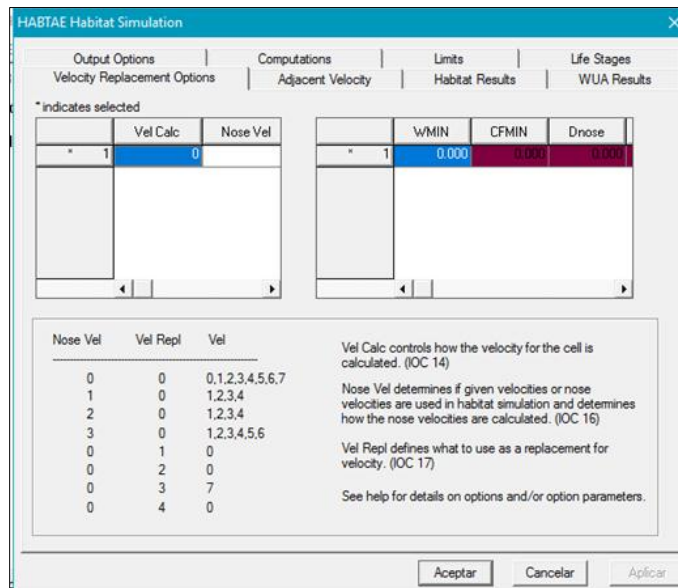


Figura 3-27

En la siguiente pestaña, *Adjacent Velocity*, en donde se puede dar la opción de realizar el escaneo de la velocidad de las celdas adyacentes y si éstos valores se van a usar para la modelación del hábitat.

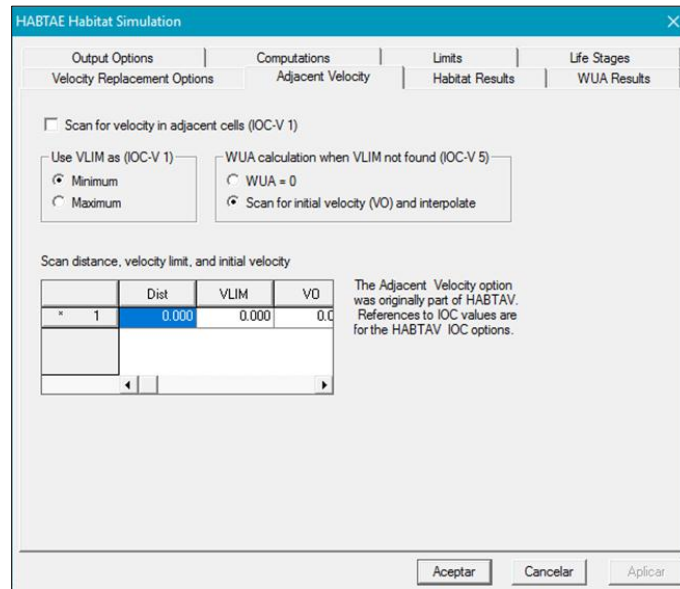


Figura 3-28

Finalmente, en las dos últimas pestañas se presentan los resultados de la modelación de hábitat.

La pestaña *Habitat Results* (Figura 3-29) permite observar los resultados para cada especie y sus diferentes etapas de vida, cada una de las secciones transversales y los caudales modelados, con los cuales se puede evaluar en que parte del cuerpo de agua la especie evaluada posee hábitat. Los resultados que se pueden evaluar en esta pestaña son:

- Vel SI: índice de idoneidad de velocidad.
- Depth SI: índice de idoneidad de profundidad.
- Sub SI: índice de idoneidad del índice de canal.
- Ad Vel: factor de idoneidad de velocidad adyacente.
- Factor: factor de idoneidad combinado para cada célula.

- Area: área de la sección.
- WUA: Área Utilizable Ponderada.

La pestaña *Habitat Results* también se puede observar los resultados en gráficas 2D y 3D usando la opción *Graph*, como se observa en la Figura 3-30.

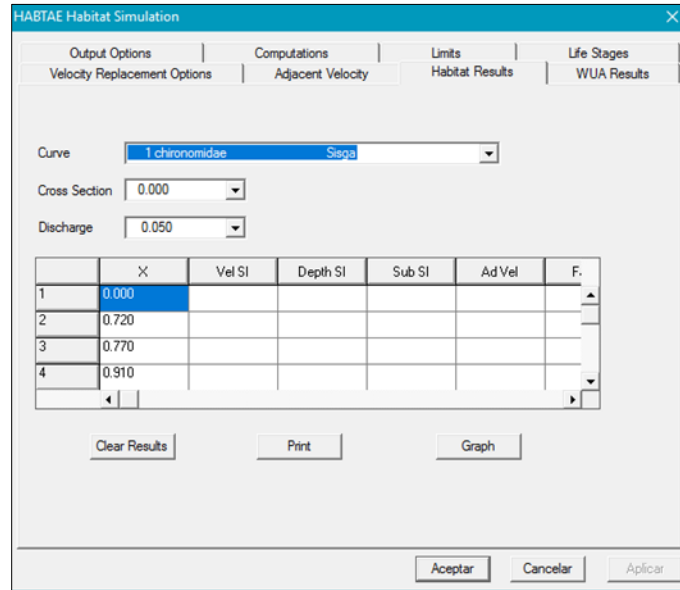


Figura 3-29

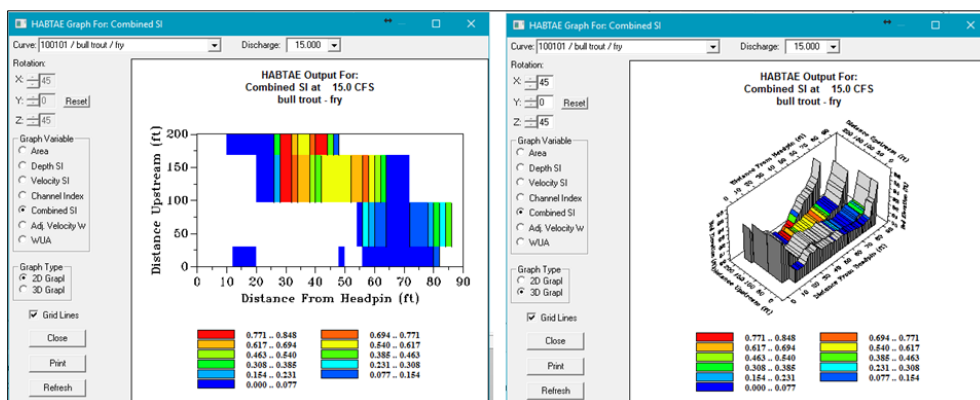


Figura 3-30

En la última pestaña de resultados, *WUA Results*, se presenta el WUA disponible para cada uno de los caudales modelados y para cada una de las especies analizadas. Igualmente, los resultados se pueden observar gráficamente como en la pestaña descrita anteriormente.

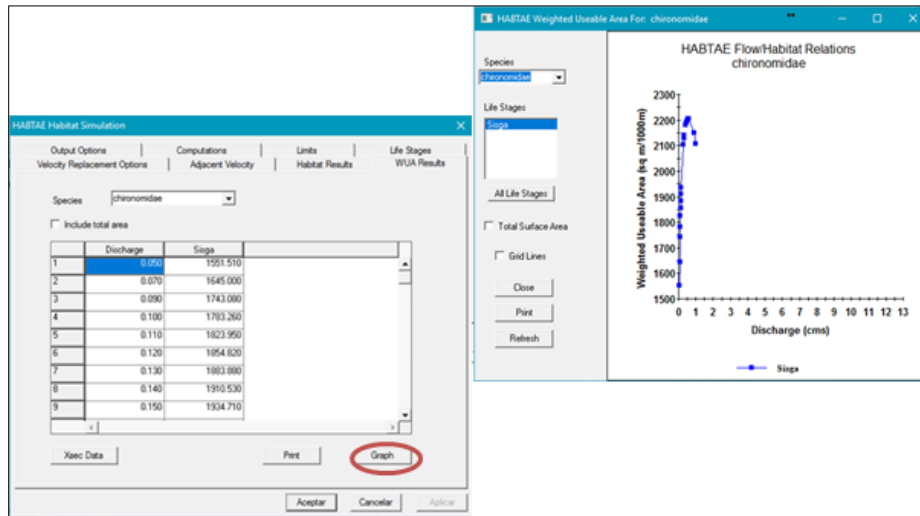


Figura 3-31

El segundo método de la modelación del hábitat es HABTAM, el cual como se mencionó con anterioridad sirve para simular la condición en la cual las especies simuladas pueden migrar de forma lateral dentro de una sección transversal con el fin de poder usar el WUA cuando se presentan cambios de caudal.

Para usar esta metodología seguimos la ruta *Models / Habtam* como se presenta en la Figura 3-32.

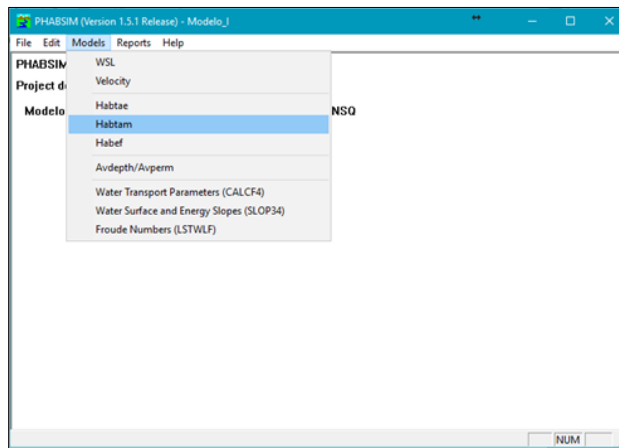


Figura 3-32

Dentro de esta metodología encontramos 7 pestañas las cuales se describirán a continuación.

En primer lugar, se encuentra la pestaña *Options* (Figura 3-33) la cual cuenta con las siguientes opciones:

- *Write Migration Calculation*: esta opción permite escribir en un archivo ZOUT los cálculos de migración.
- *Write Cross Section Data*: por medio de esta casilla el programa permite guardar en un archivo ZOUT los datos de cada una de las secciones transversales.
- *Write Flow Related Data*: esta opción permite escribir en un archivo ZOUT los datos de flujo modelados para cada caudal, además de la velocidad en cada una de las celdas.
- *Write Computational Details*: Esta casilla permite guardar los detalles computacionales del cálculo del Área Utilizable Ponderada, WUA en un archivo ZOUT. Es recomendable dejar la casilla sin seleccionar en caso de no necesitar detalles de la simulación realizada. Según (USGS, 2001), “La salida es voluminosa, por lo que se recomienda limitar el número de etapas de vida cuando se utiliza esta opción”.
- *Write Criteria Curve Coordinates*: esta opción permite escribir las coordenadas de las curvas de preferencia usadas para la simulación del hábitat en un archivo ZOUT.

- *Selected Discharges:* en esta tabla se puede seleccionar los caudales con los cuales de desea hacer la simulación del hábitat.
- *Flows for Migration Calculations:* en esta tabla el programa permite seleccionar hasta 25 pares de caudales iniciales y finales en donde la especie analizada hará la migración.

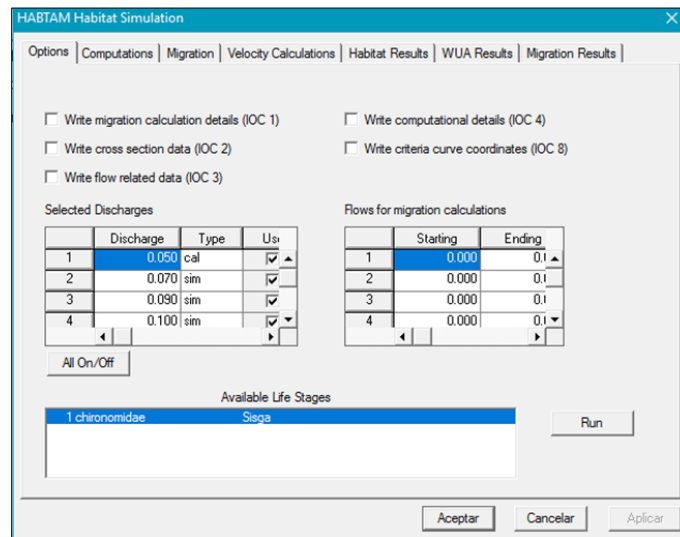


Figura 3-33

En la pestaña *Computations* se encuentran las siguientes opciones:

- *Use Channel Index Values of Zero in WUA Calculations:* esta opción permite asignar un valor al índice de canal. Cuando la opción es seleccionada, el índice de canal asume un valor de cero, caso contrario, cuando se deja sin seleccionar, el programa asigna un valor de uno al índice del canal.
- *Describe Reach Bends:* permite variar al longitud entre las celdas de las secciones transversales.
- *Calculate Habitat as % of Total Area:* por medio de esta opción se calcula el hábitat como un porcentaje del área total.
- *Habitat Area Calculation:* al igual que en la metodología HABTAE, por medio de esta opción el programa permite seleccionar la forma en la cual se va a realizar el cálculo

área del hábitat. Se presentan tres opciones de cálculo: Standard Calculation, Geometric Mean y Lowest Limiting Parameter.

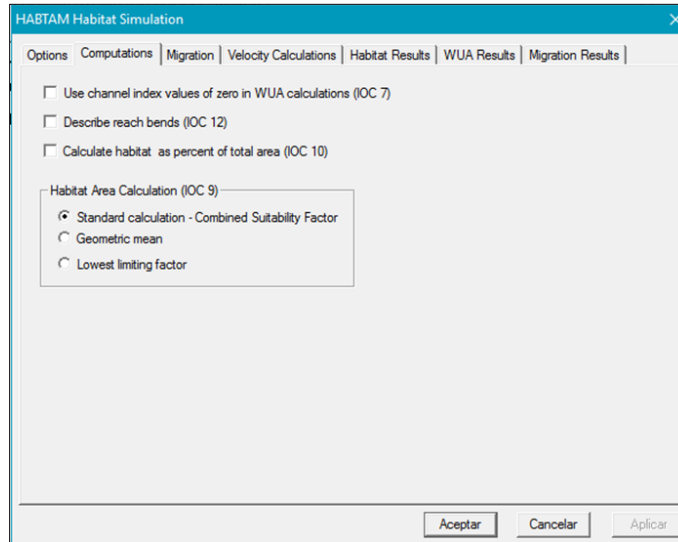


Figura 3-34

En la siguiente pestaña, *Migration*, se encuentran 2 opciones:

- *Enter Migration Distance for Each Curve ID*: por medio de esta opción se ingresan los valores de la distancia de migración para cada etapa de vida de la especie analizada, representada por las curvas de preferencia. En el costado izquierdo de la tabla se presenta el número de etapas de vida con las cuales se desea hacer la simulación del hábitat.
- *Enter up to 25 Additional Migration Distances*: cuando se tienen varias opciones de migración de la especie, esta opción permite introducir un número de curva de preferencia y una distancia de migración adicional.

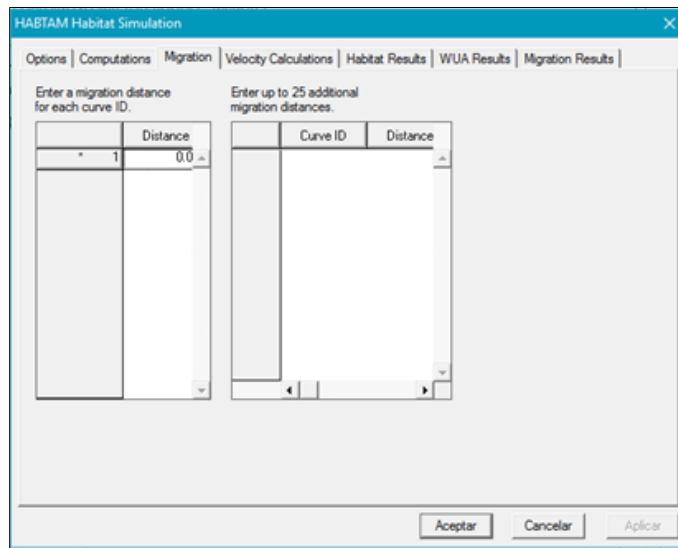


Figura 3-34

La pestaña *Velocity Calculations* está compuesta de 3 opciones como se observa en la Figura 3-36.

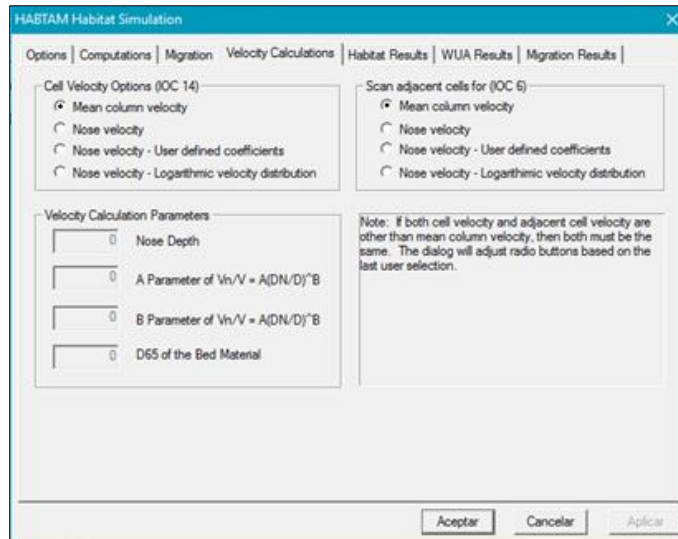


Figura 3-36

- *Cell Velocity Options*: esta opción funciona de la misma manera que la pestaña *Velocity Replacement Options* de HABTAE.

- *Scan Adjacent Cells for:* por medio de esta opción se realiza el escaneo de las mismas alternativas presentadas en *Cell Velocity Options*.
- *Velocity Calculations Parameters:* en esta opción se pueden introducir los valores de los parámetros para el cálculo de la velocidad.

La pestaña *Habitat Results* y *WUA Results* al igual que en HABTAE, permiten observar los resultados para cada especie y sus diferentes etapas de vida, cada una de las secciones transversales y los caudales modelados, con los cuales se puede evaluar en que parte del cuerpo de agua la especie evaluada posee hábitat.

Finalmente, se encuentra la pestaña *Migration Results* en donde se presentan los resultados de WUA resultante teniendo en cuenta la restricción de los cálculos de migración.

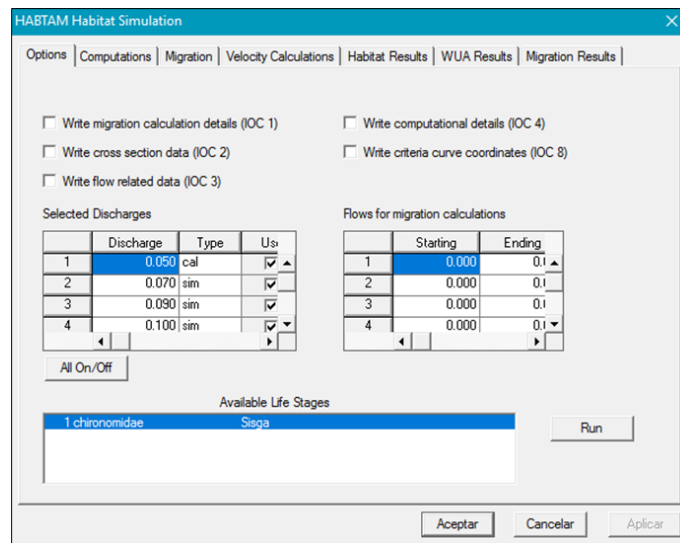


Figura 3-37

Finalmente se tiene el tercer método de simulación de hábitat correspondiente a HABEF, explicado en el Numeral 4.1.2.

Para ingresar a las opciones que presenta esta metodología se sigue la ruta: *Models / HABEF* como se observa en la Figura 3-38.

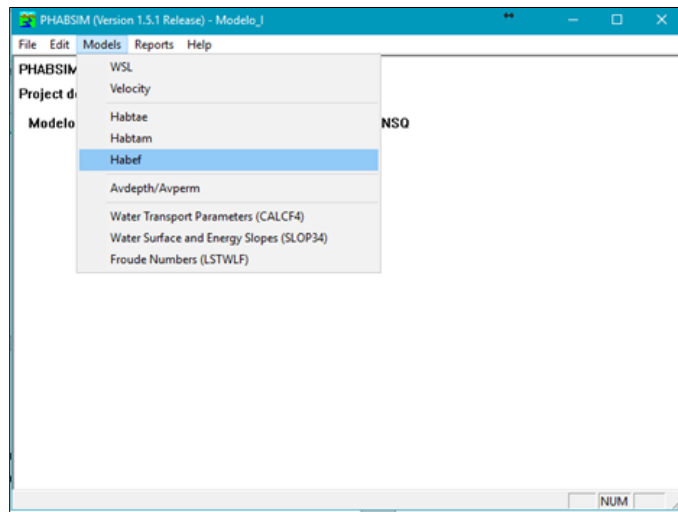


Figura 3-38

Dentro de esta metodología solo se encuentran dos pestañas: *Options* y *Results*.

La primera pestaña, *Options*, esta compuesta de las siguientes opciones:

- *Job Title*: en esta opción se ingresa el nombre con el cual se quiere llamar la comparación que se va a realizar.
- *Species / Life Stage 1* y *Species / Life Stage 2*: mediante estas opciones se seleccionan las etapas de vida de las especies con las cuales se desea hacer la comparación.
- *Analysis*: mediante esta opción se puede seleccionar los análisis que se quieren realizar:
 - ✓ *Union of life Stage 1 with Life Stage 2*: cuando se quiere realizar el análisis con la unión de la etapa de vida de la especie 1 y 2.
 - ✓ *Streamflow Variation Analysis (minimum WUA)*: según (USGS, 2001), el propósito de esta opción es “observar el hábitat disponible en dos flujos con ambos conjuntos de caudales variando en un rango de caudal”, esto con el fin de analizar en cual variación de flujo se presenta más o menos hábitat disponible.
 - ✓ *Competition Analysis*: en esta opción se puede analizar la competencia que tengan las dos especies analizadas por una parte del hábitat.

- ✓ *Effective Spawning Analysis*: se realiza cuando se presentan condiciones adecuadas durante el periodo de incubación. Se analiza un área de hábitat disponible para el desove.
 - ✓ *Stranding Index Analysis*: se usa para analizar el hábitat cuando el flujo disminuye.
- *Data Source*: como se menciona anteriormente, HABEF usa los resultados de las modelaciones de HABTAM y HABTAE. Mediante esta opción se puede seleccionar la fuente de datos para la simulación del hábitat, si se desea usar los resultados de HABTAM o de HABTAE.

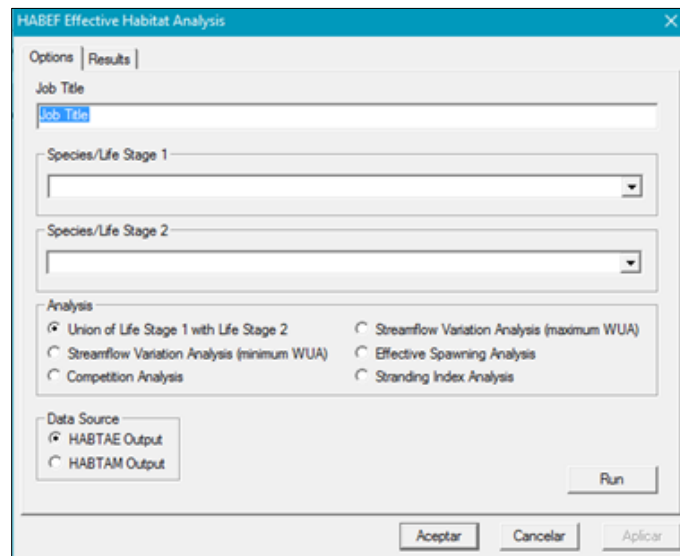


Figura 3-39

Finalmente se encuentra la pestaña de resultados, *Results*, en donde al igual que en las modelaciones anteriores, se pueden observar los resultados de la simulación del hábitat por medio de una tabla o de un gráfico.

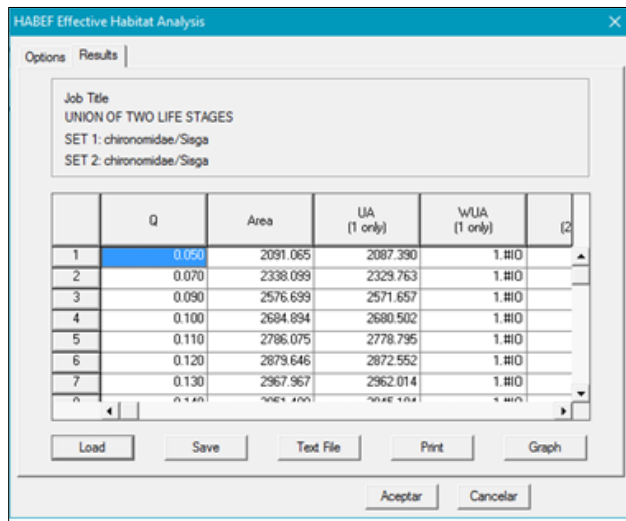


Figura 3-40

8. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Finalmente, existe un módulo en PHABSIM en donde se pueden observar los resultados de las modelaciones realizadas sin tener que entrar a los módulos de cada modelación.

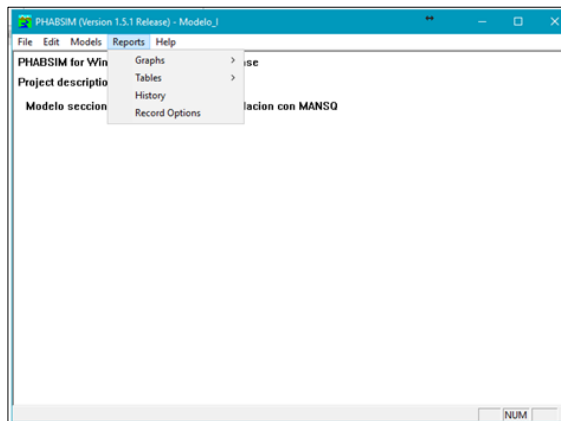


Figura 3-41

Como se observa en la Figura 3-42 y Figura 3-43, los resultados se presentan en gráficos y en tablas, dependiendo del análisis que se quiera realizar.

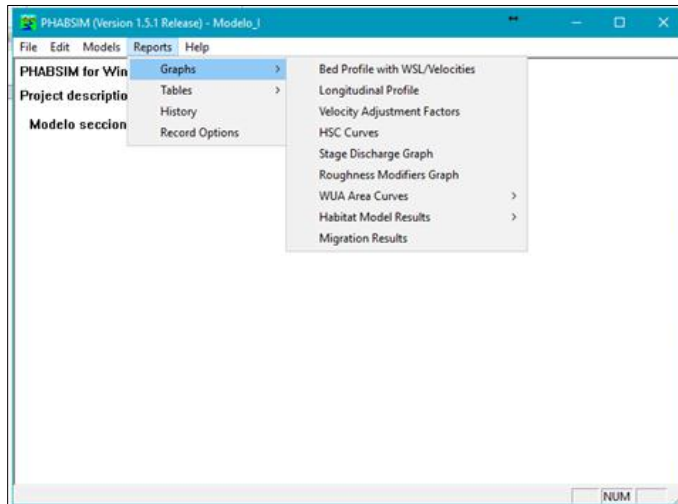


Figura 3-42

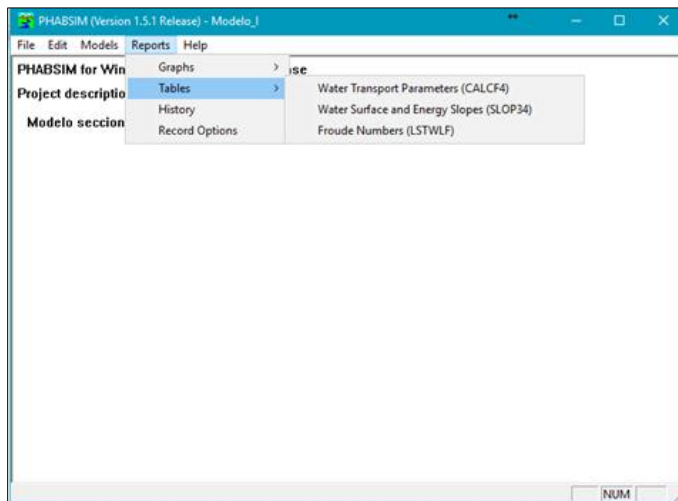
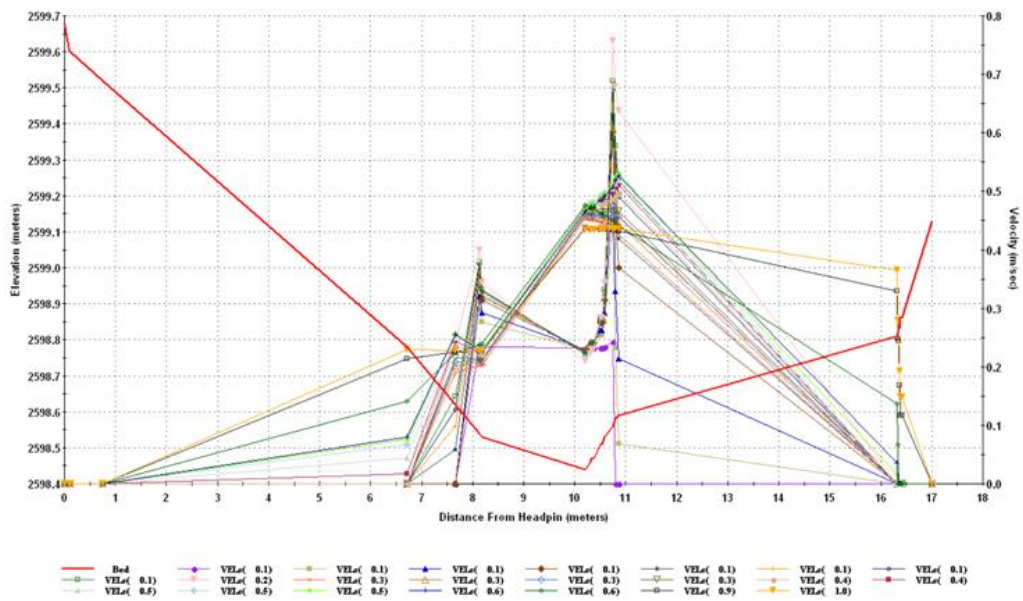


Figura 3-43

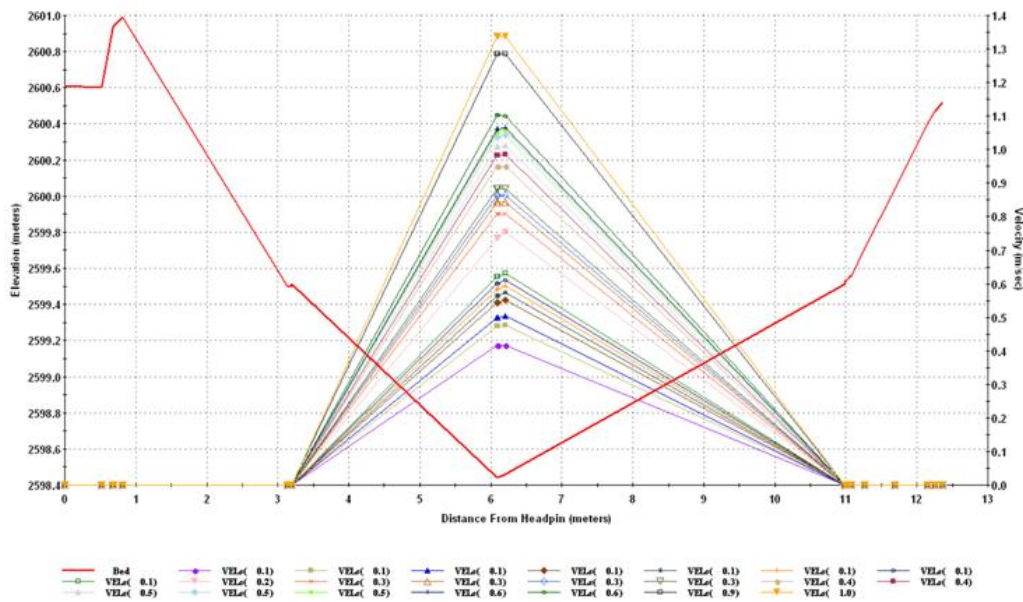
Anexo 4 – Modelación de Hábitat usando el Programa Computacional PHABSIM

La información perteneciente a este archivo es mostrada a través de medio magnético. Los archivos presentados deben abrirse mediante el programa computacional PHABSIM.

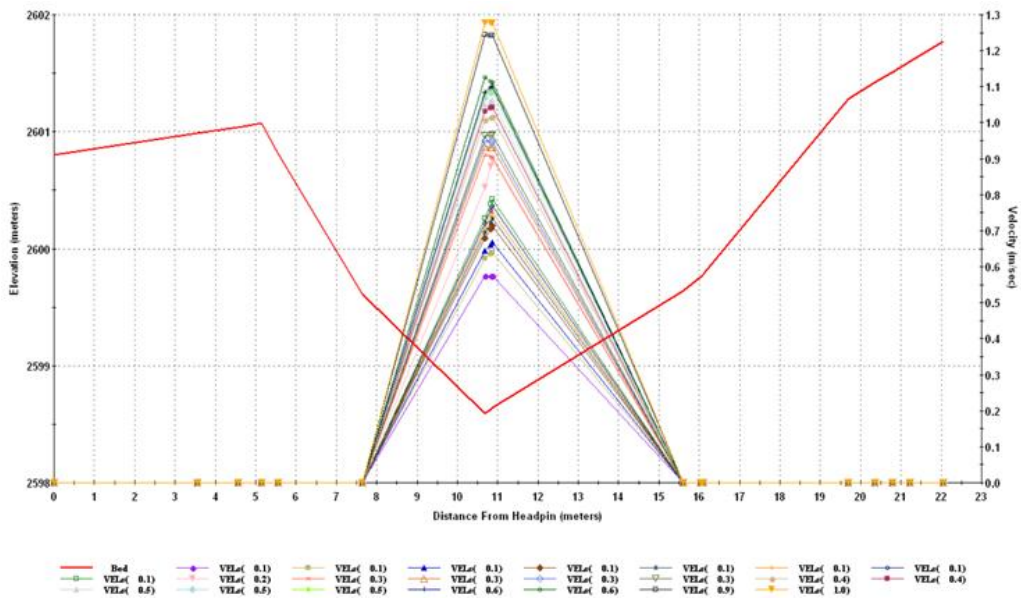
Anexo 5 – Resultados de la modelación de la velocidad



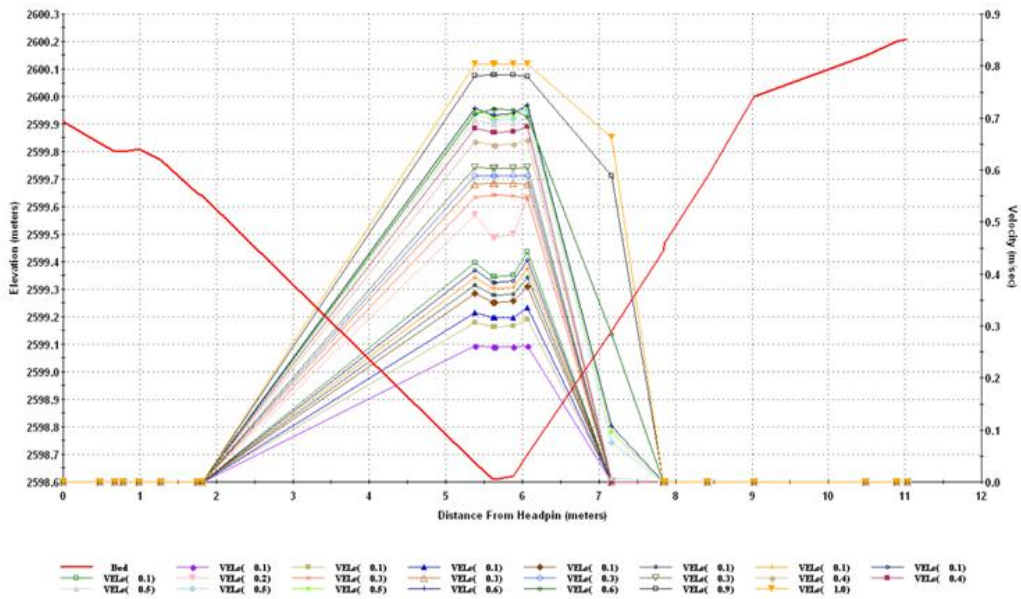
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+103 del Modelo No. 1.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



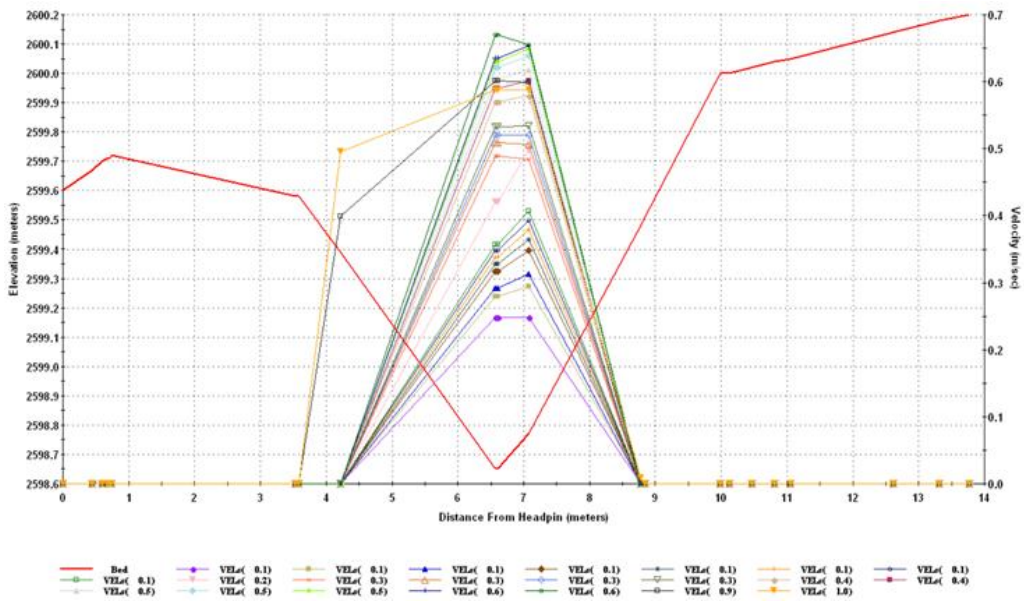
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+166 del Modelo No. 1.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



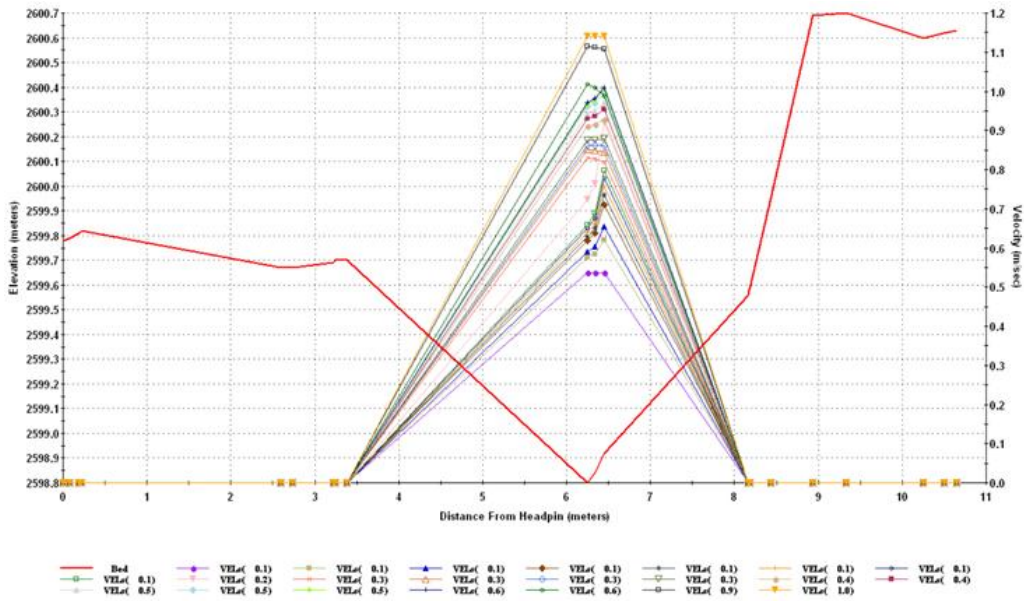
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+204 del Modelo No. 1.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



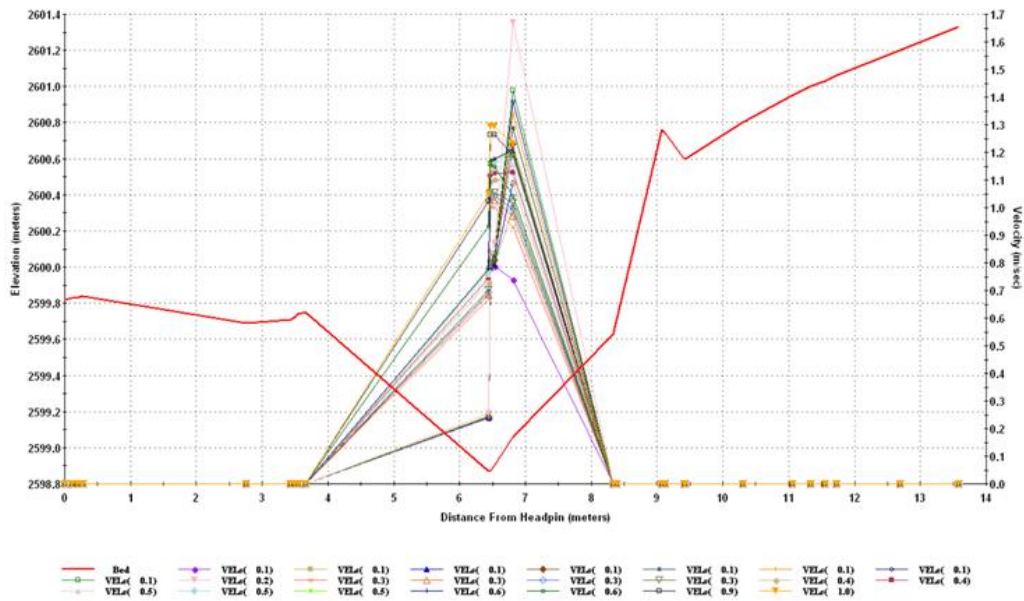
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+236 del Modelo No. 1.
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



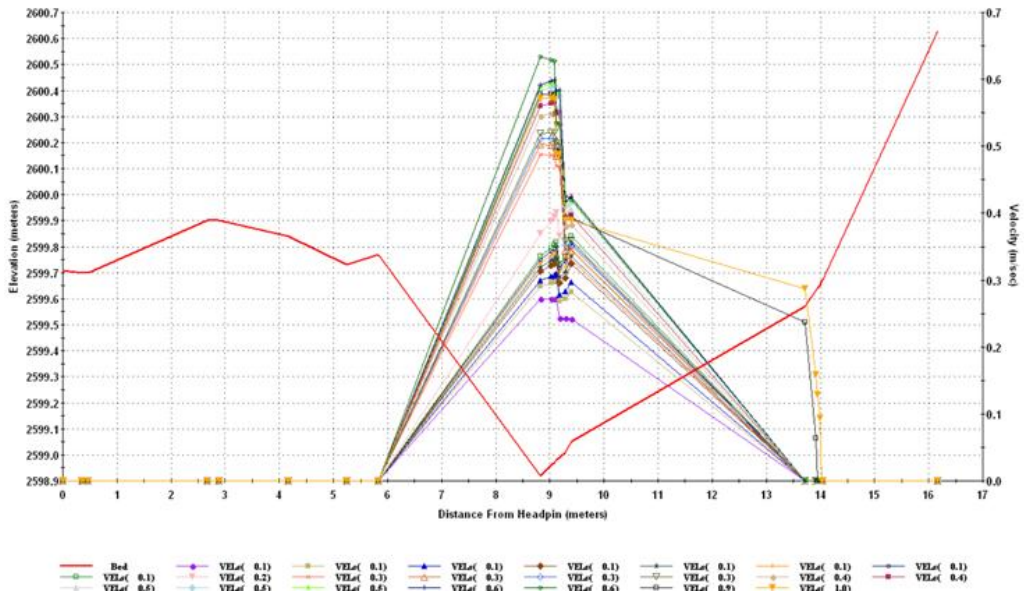
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+310 del Modelo No. 2
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



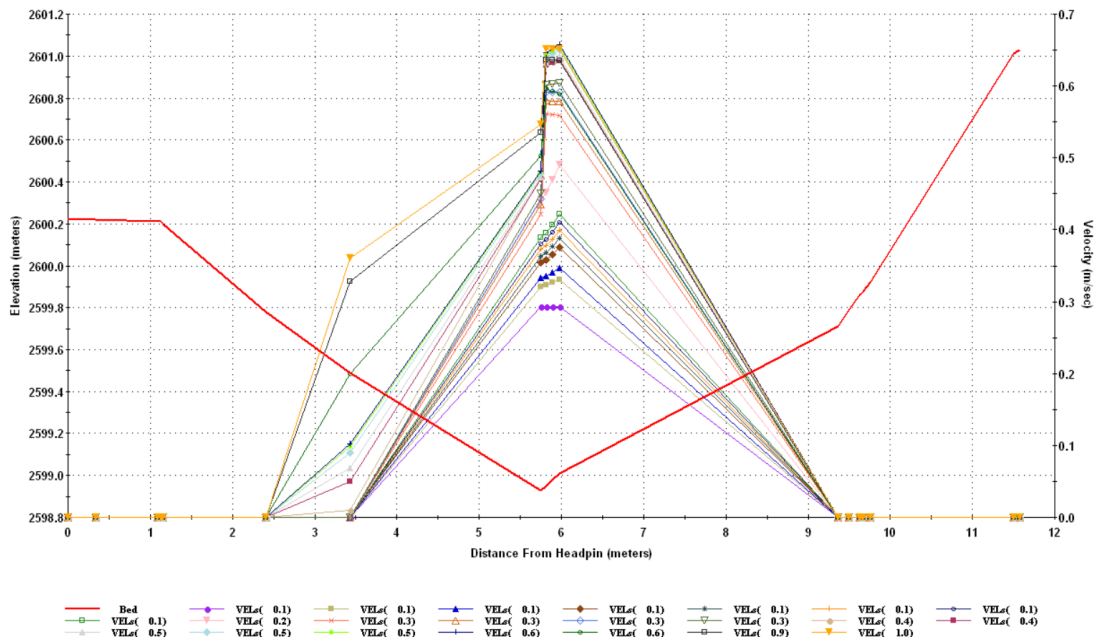
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+355 del Modelo No. 2
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



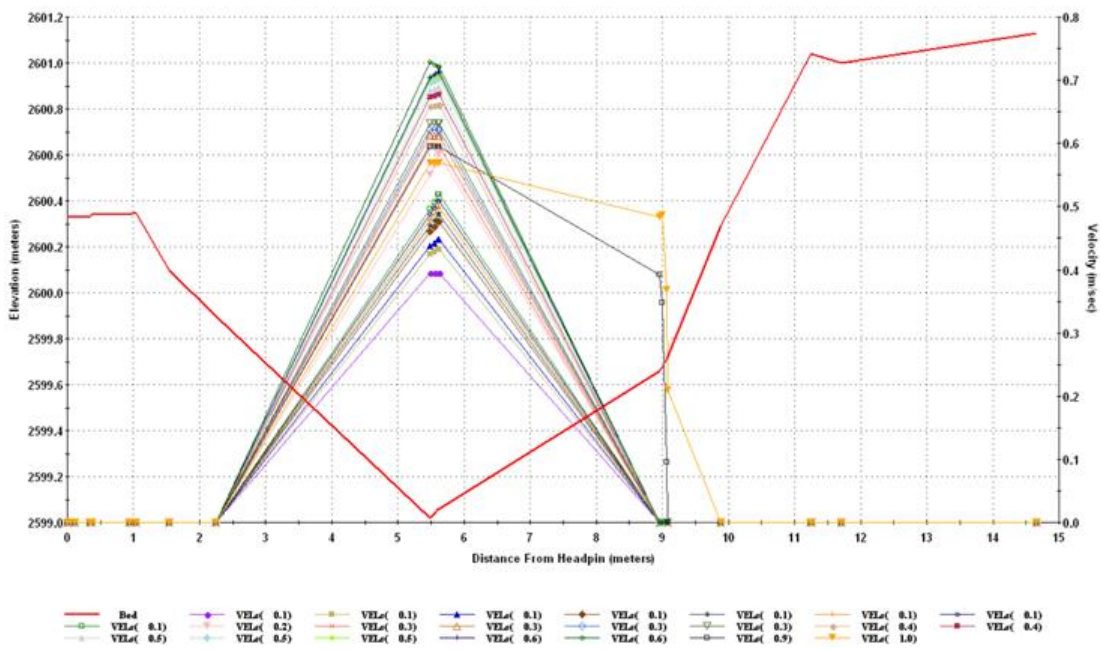
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+374 del Modelo No. 2
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



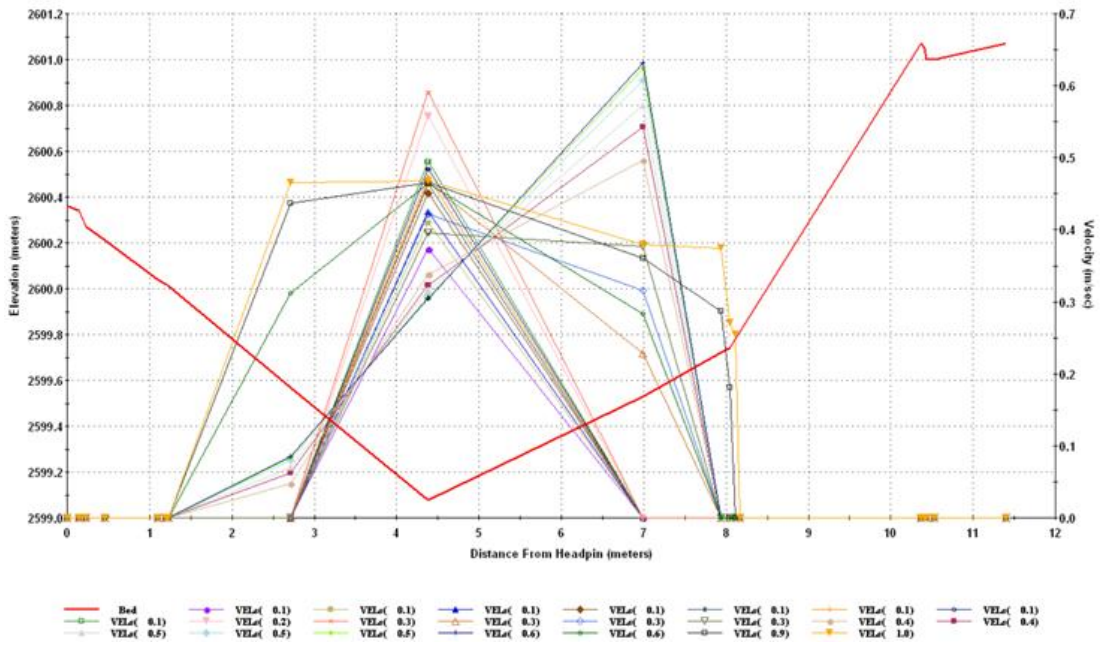
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+416 del Modelo No. 2
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



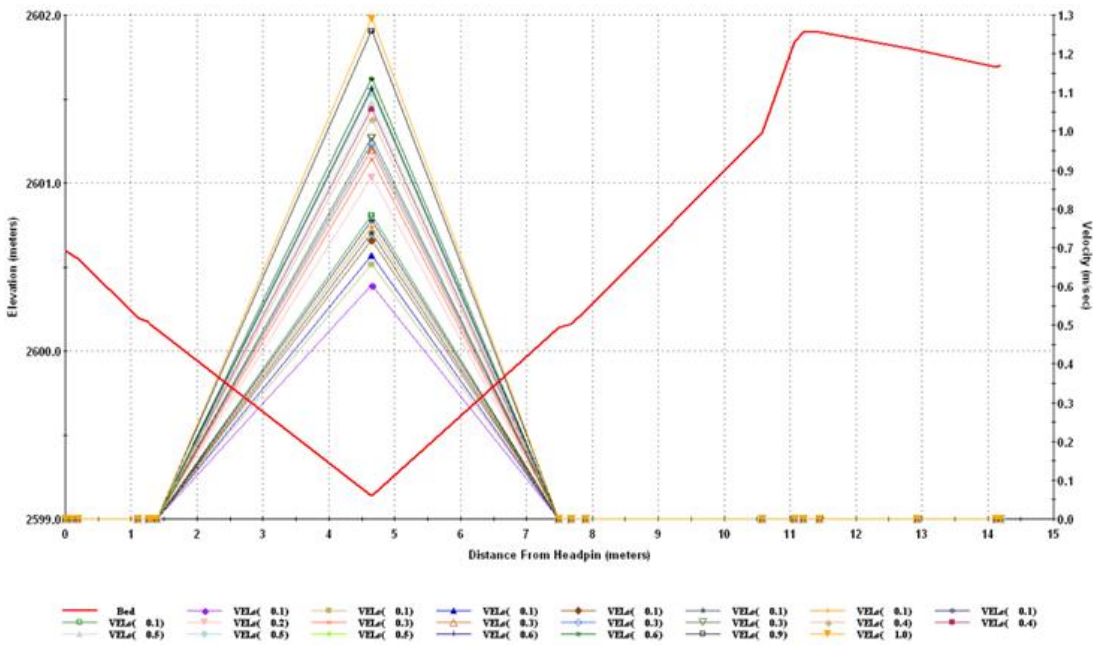
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+456 del Modelo No. 2
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



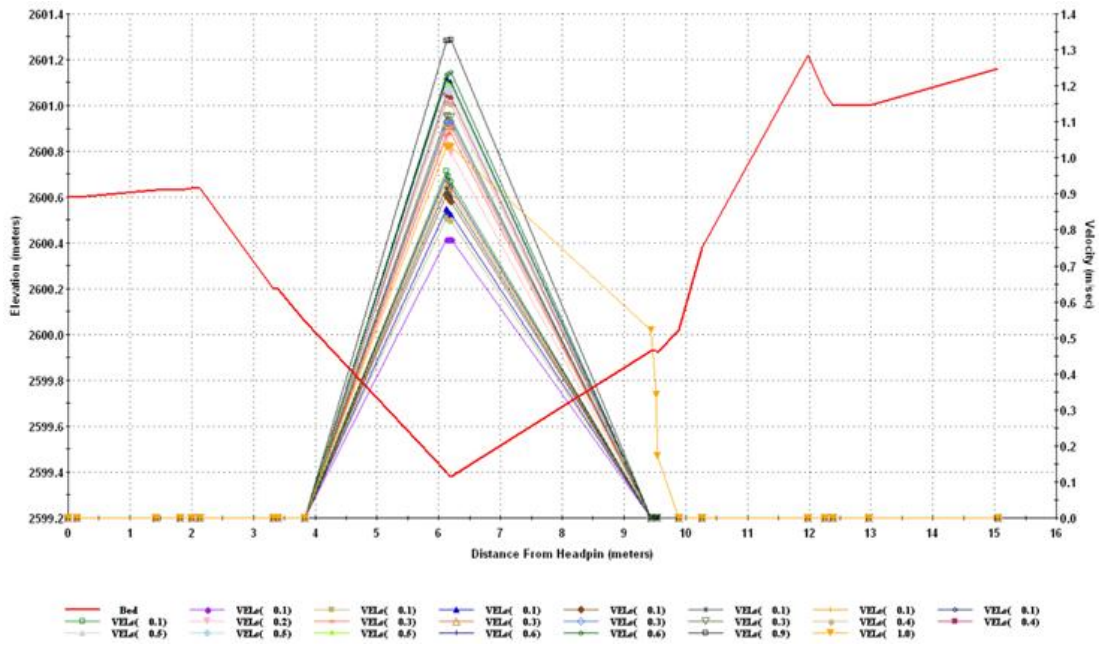
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+496 del Modelo No. 2
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



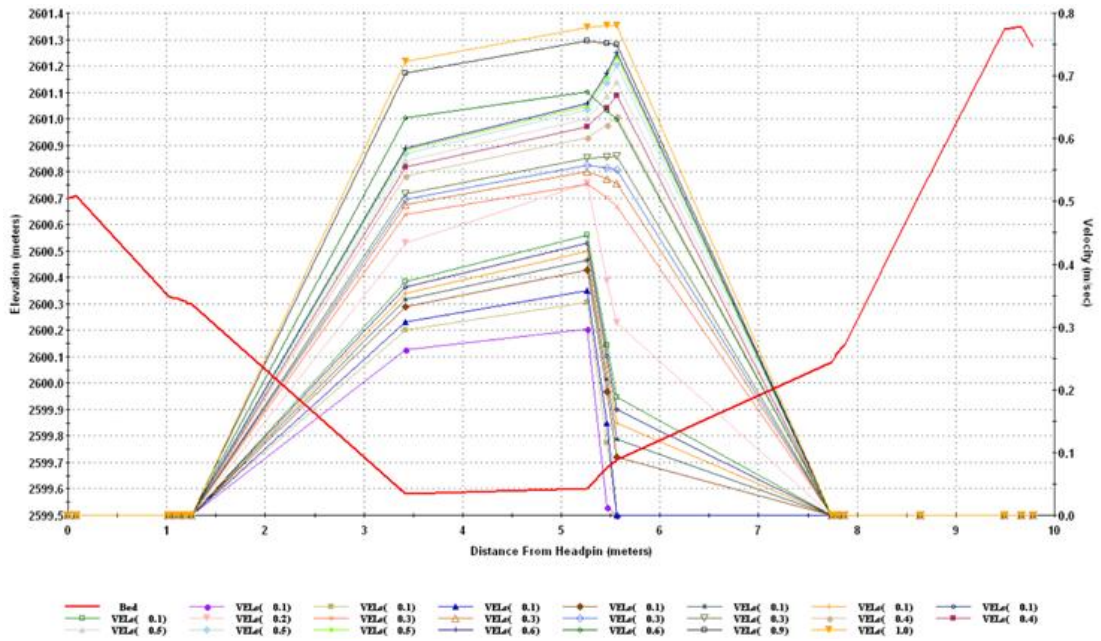
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+550 del Modelo No. 2
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



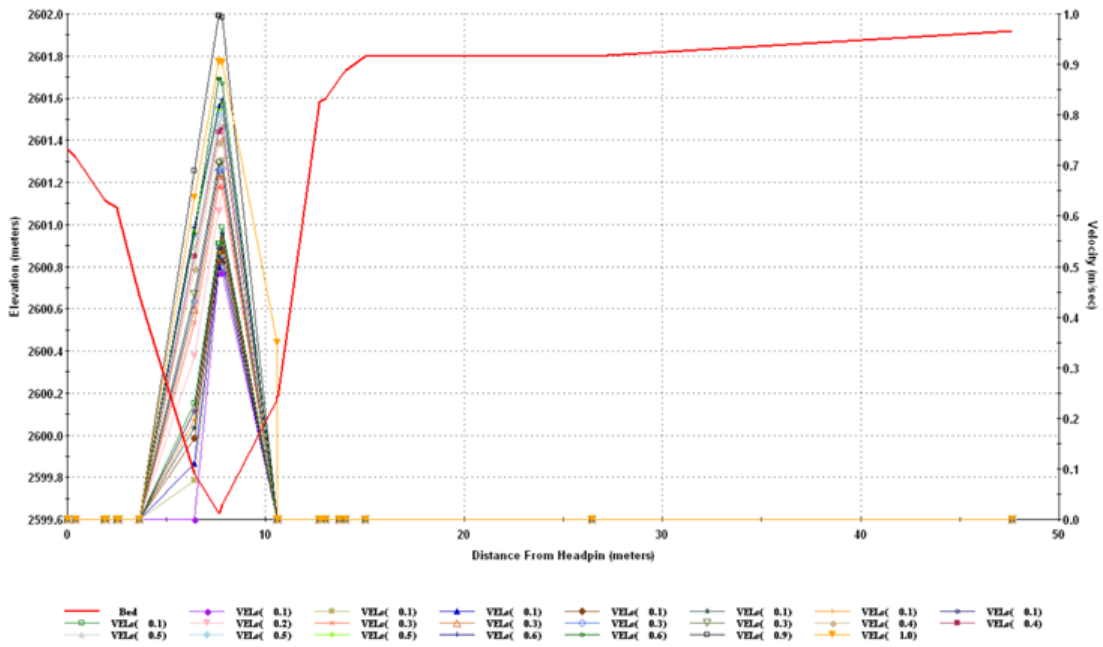
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+581 del Modelo No. 2
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



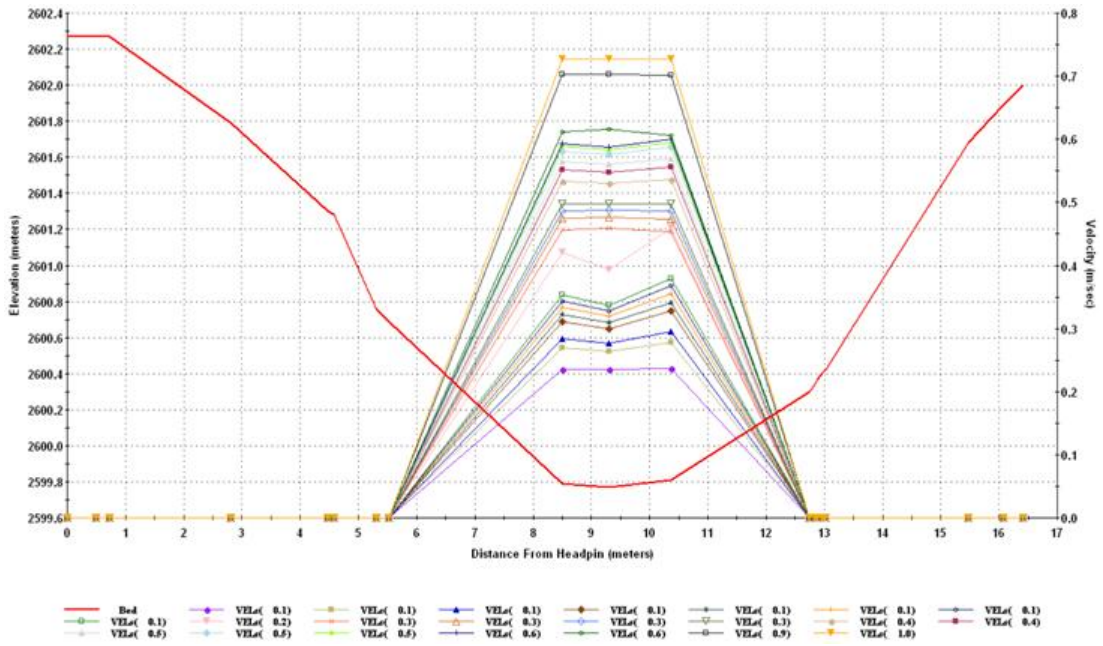
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+608 del Modelo No. 3
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



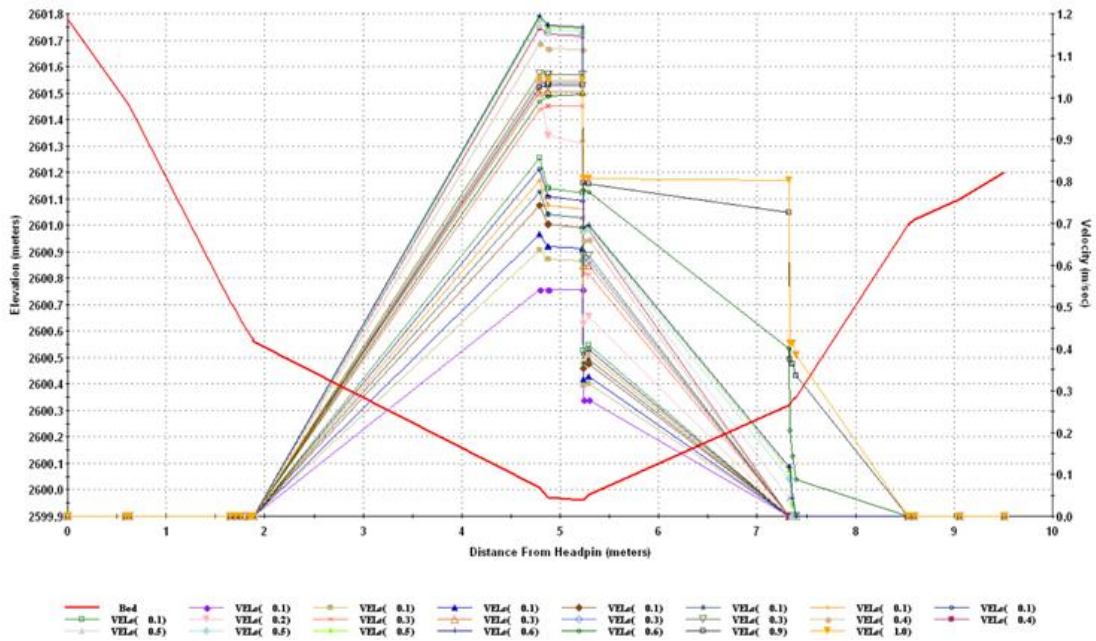
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+638 del Modelo No. 3
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



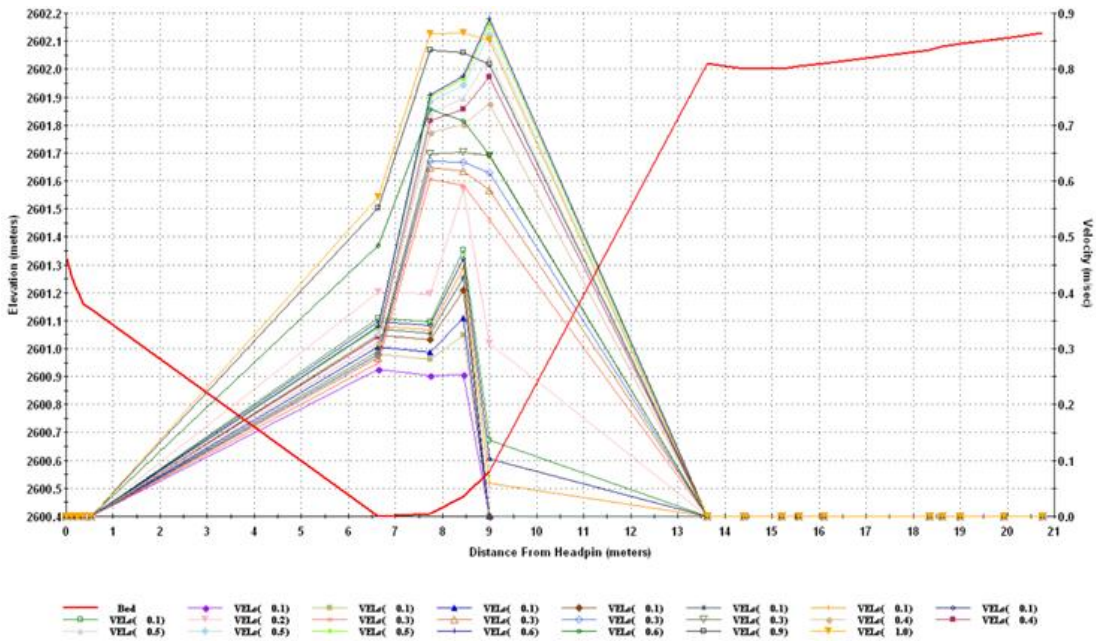
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+680 del Modelo No. 3
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



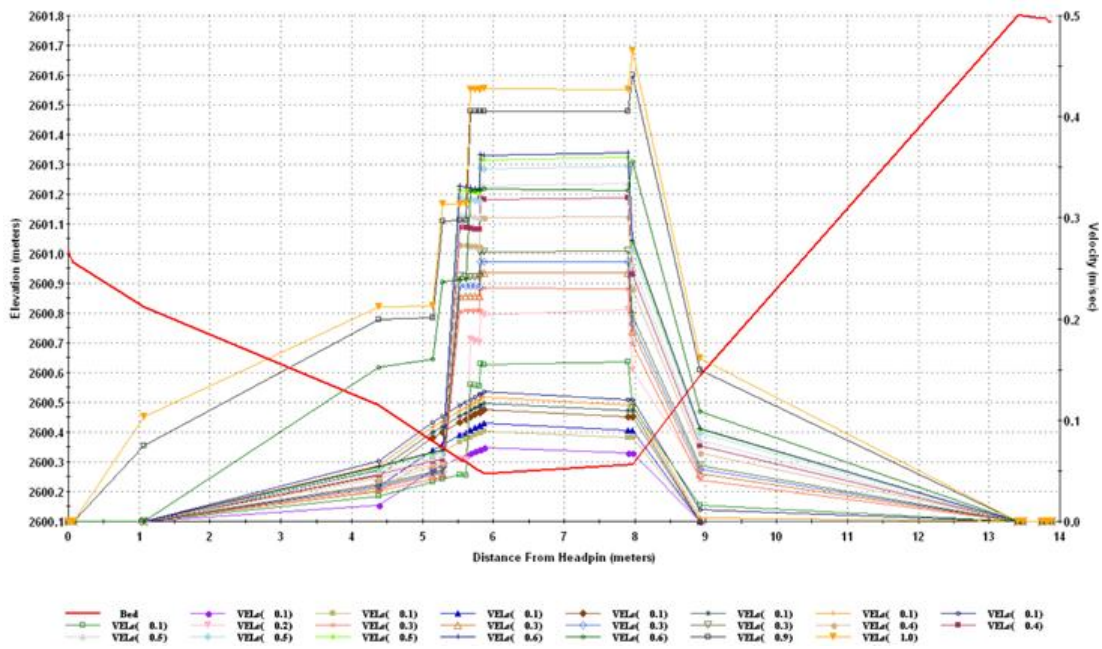
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+710 del Modelo No. 3
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



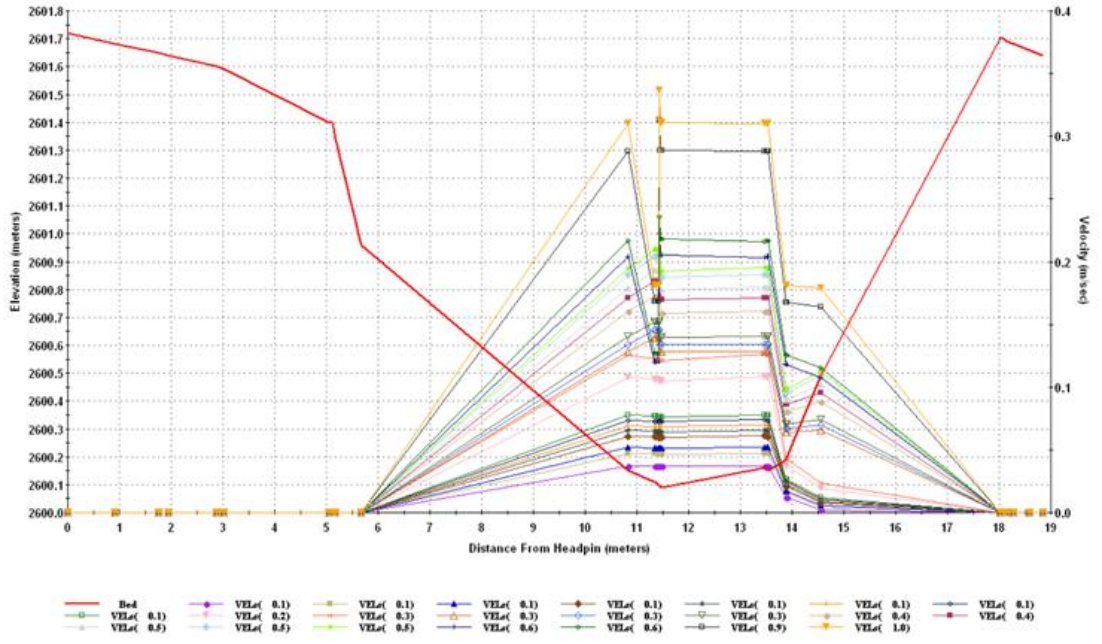
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+764 del Modelo No. 3
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



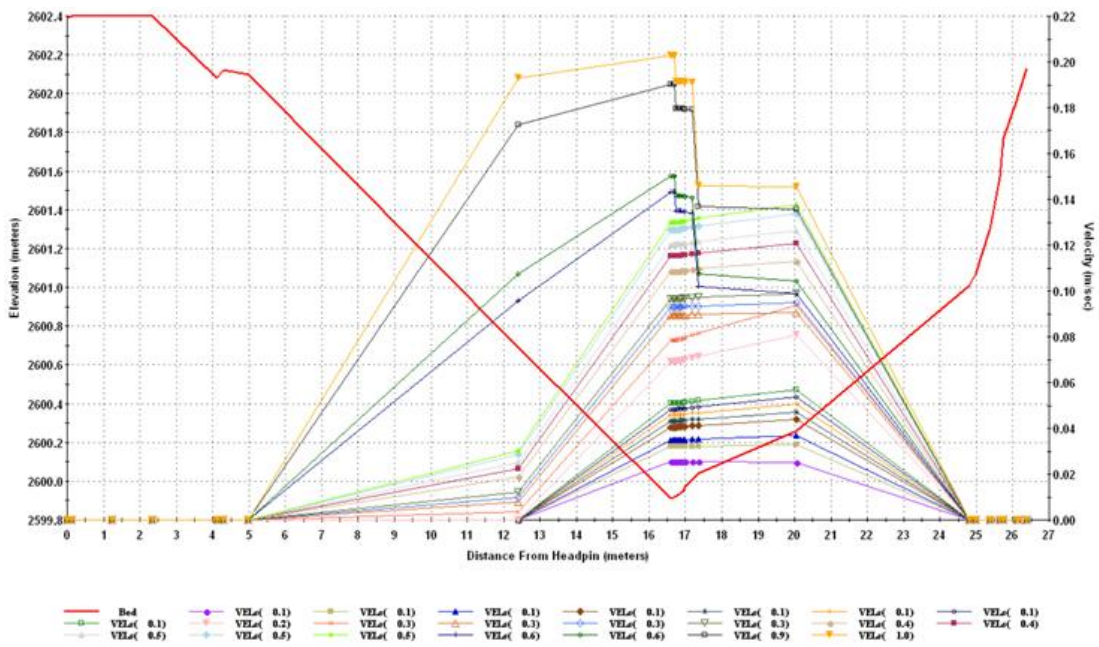
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+862 del Modelo No. 3
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



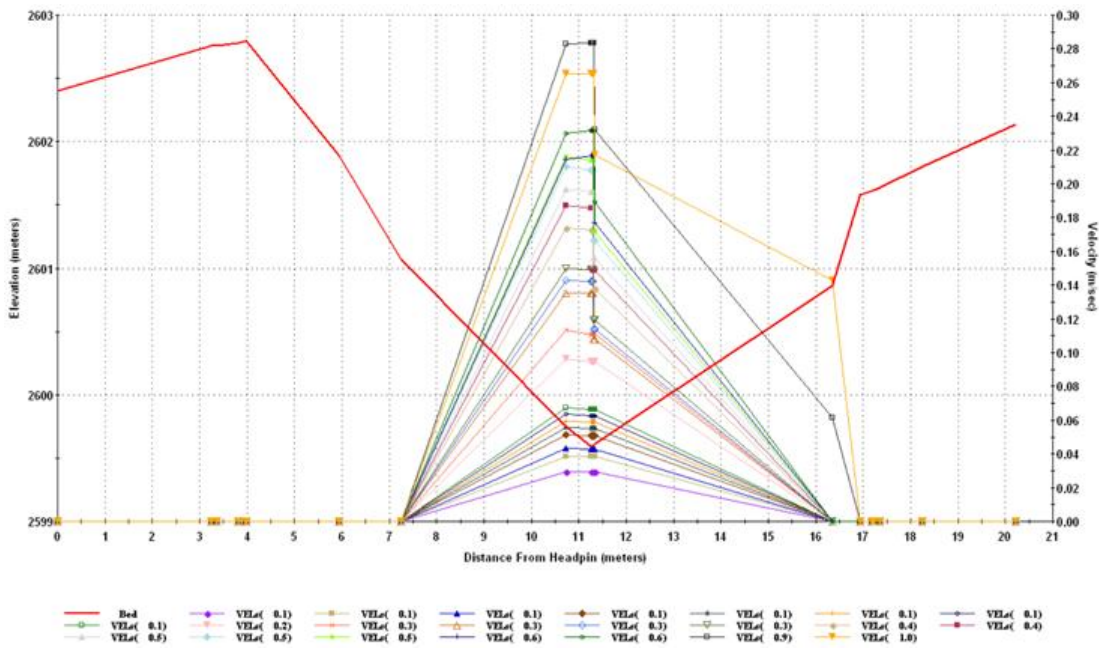
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+901 del Modelo No. 3
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



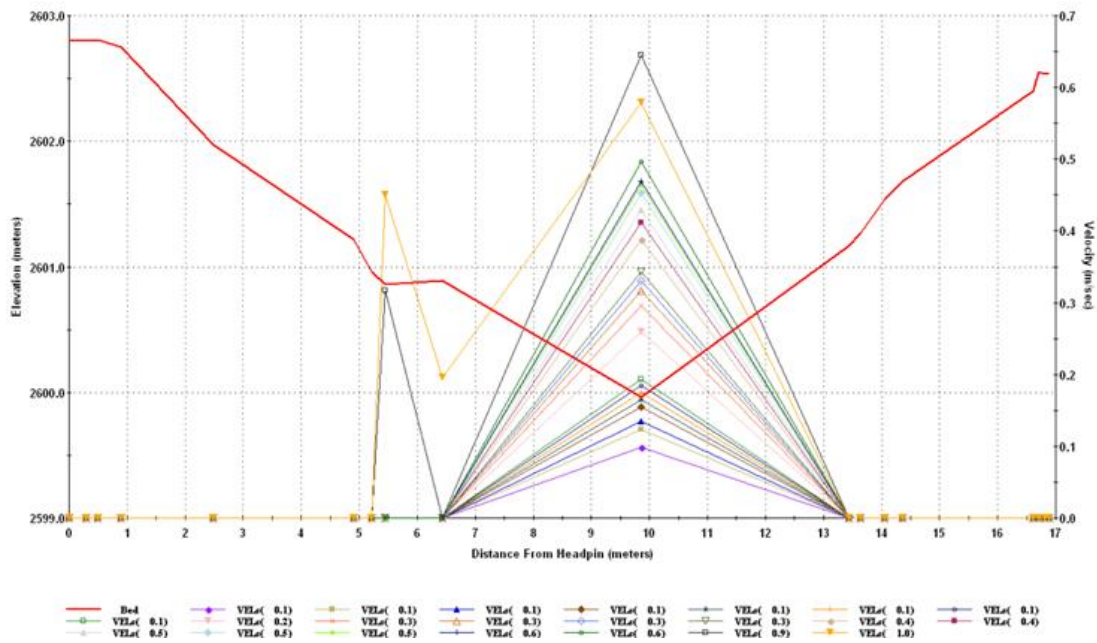
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+933 del Modelo No. 4
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



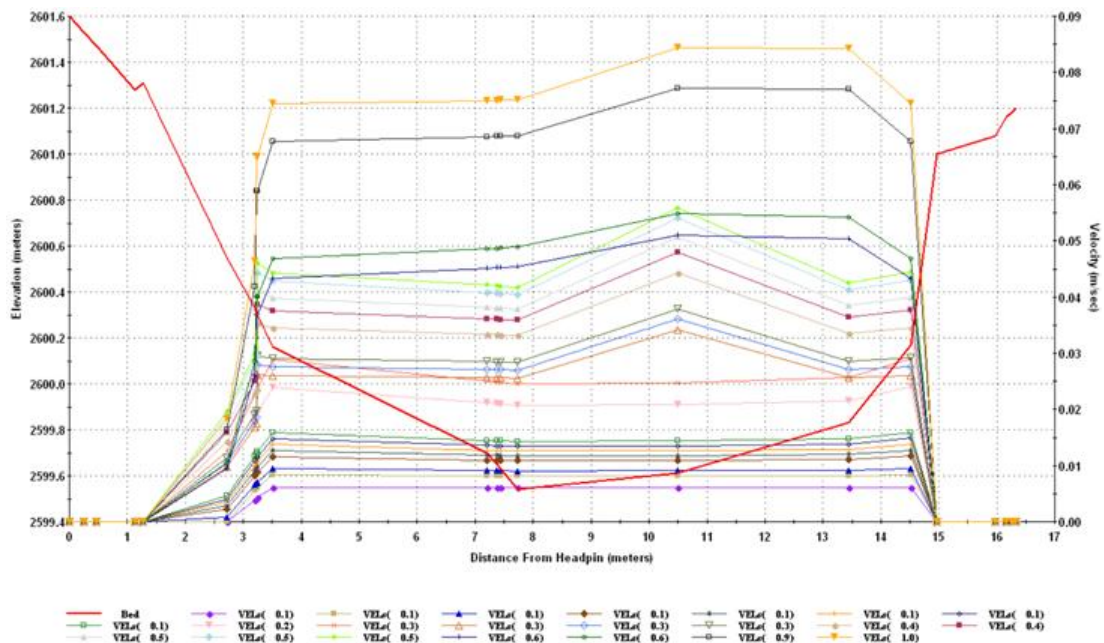
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k0+971 del Modelo No. 4
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



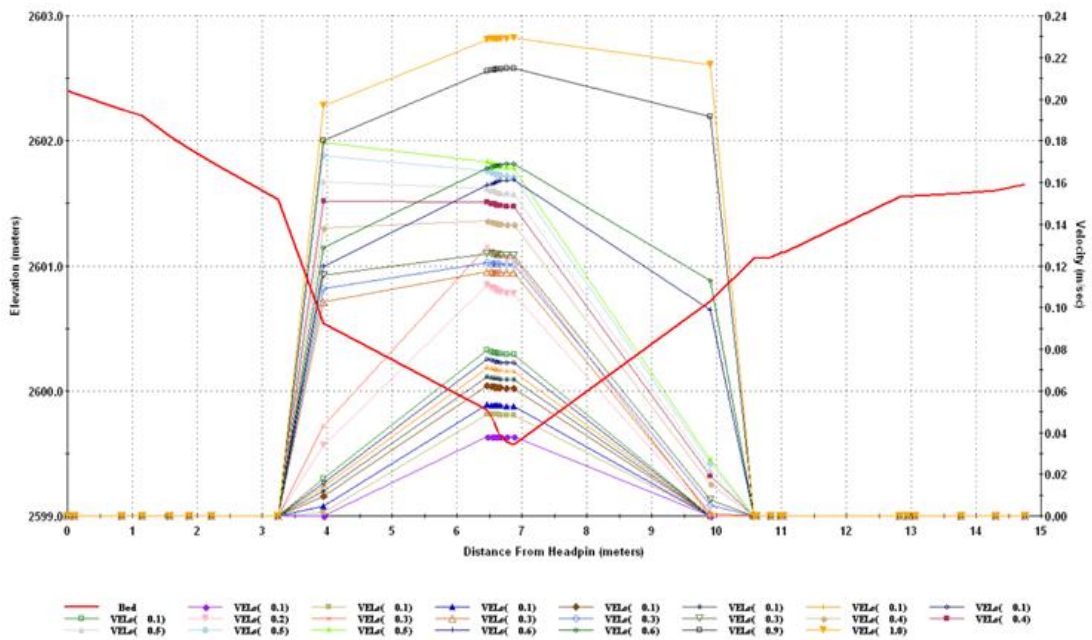
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+018 del Modelo No. 4
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



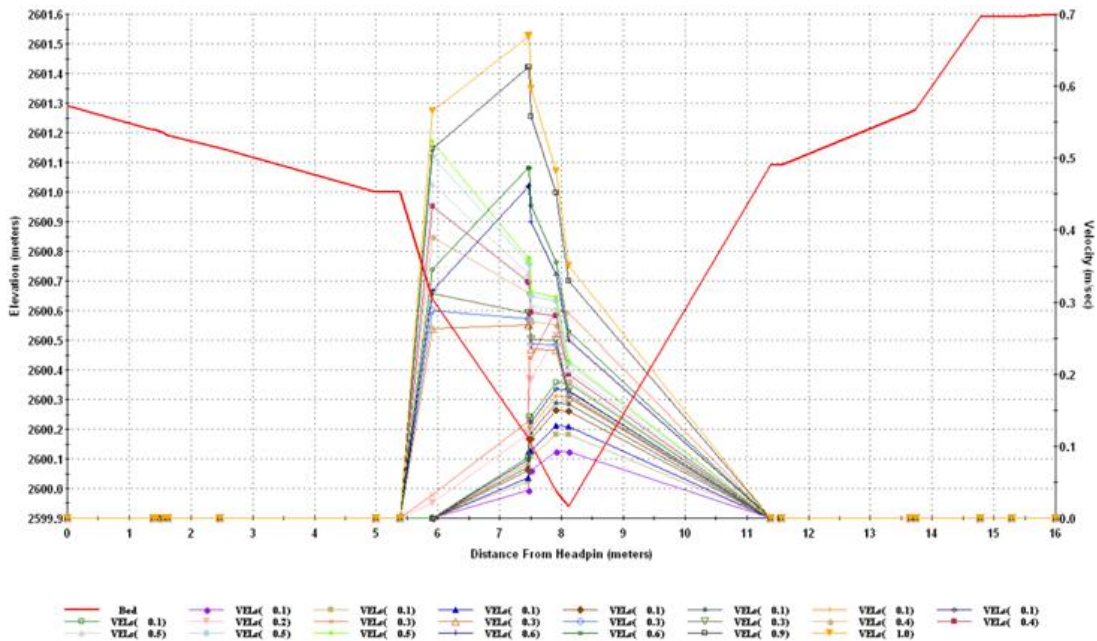
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+043 del Modelo No. 4
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



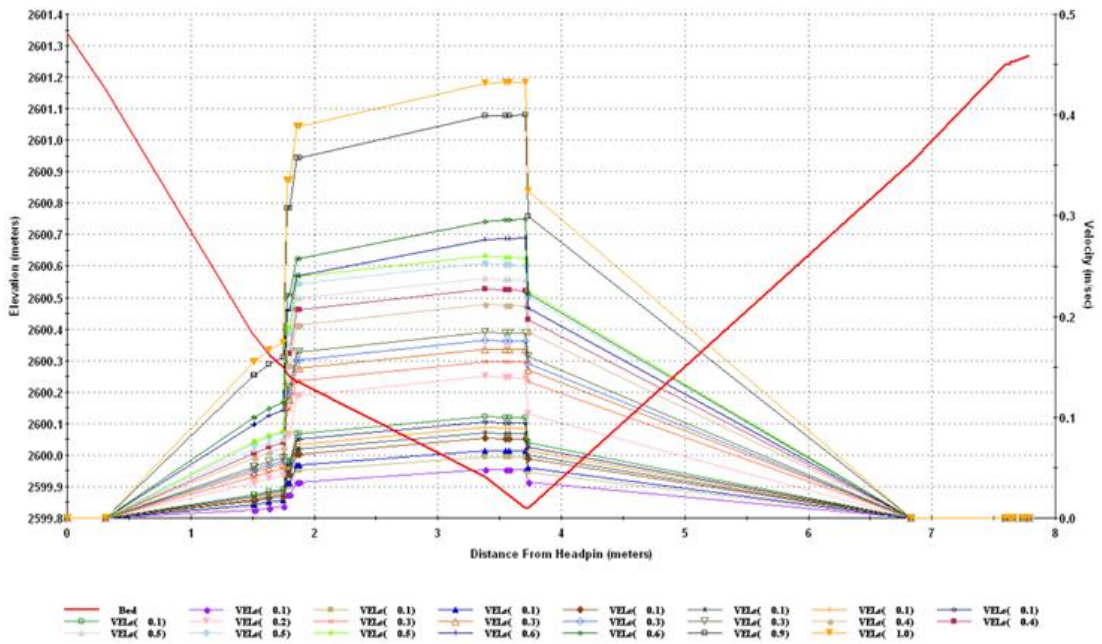
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+047 del Modelo No. 4
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



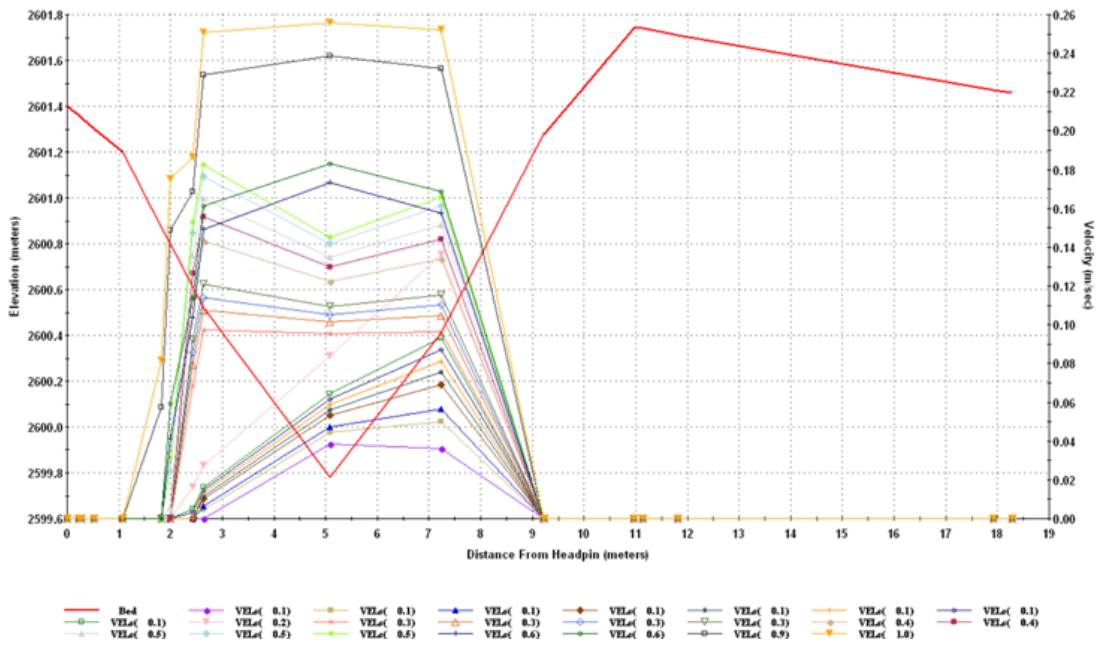
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+104 del Modelo No. 4
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



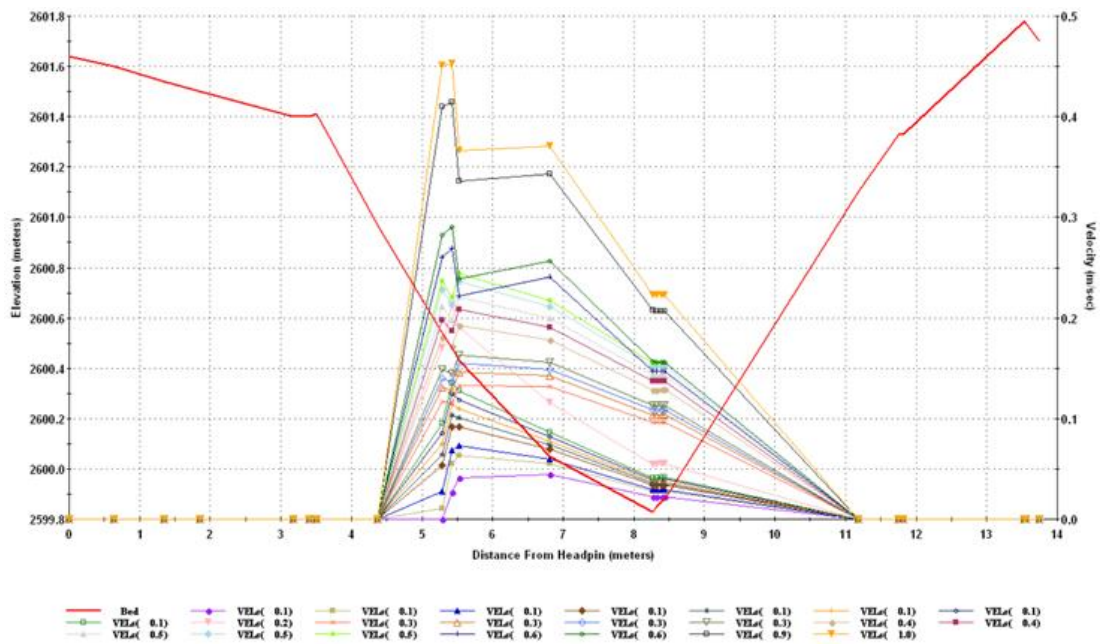
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+131 del Modelo No. 4
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



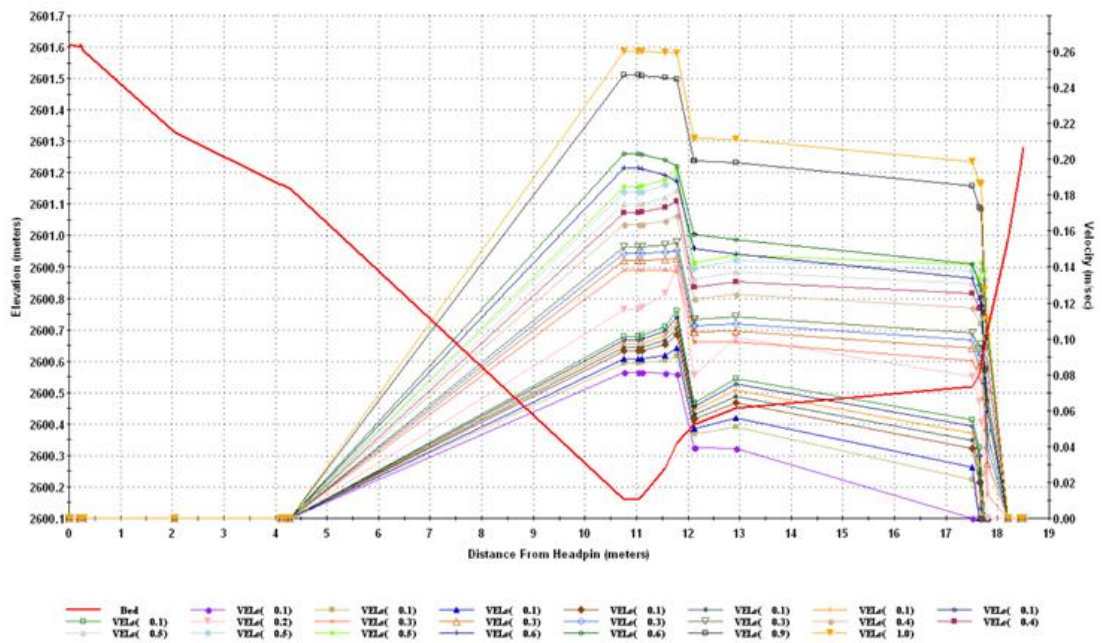
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+155 del Modelo No. 5
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



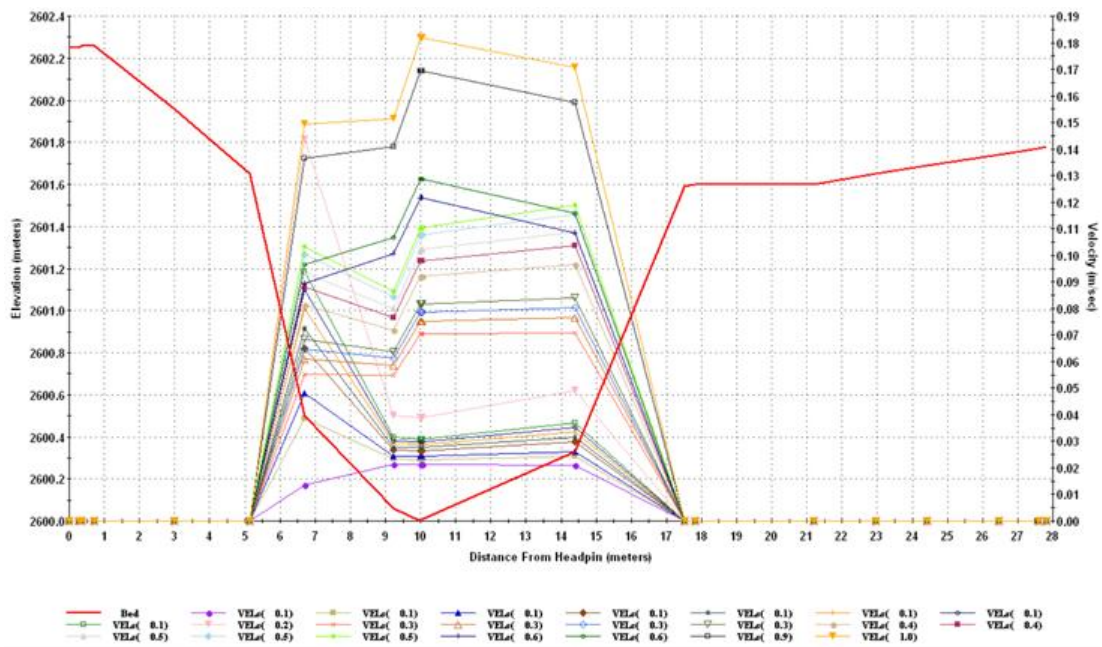
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+177 del Modelo No. 5
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



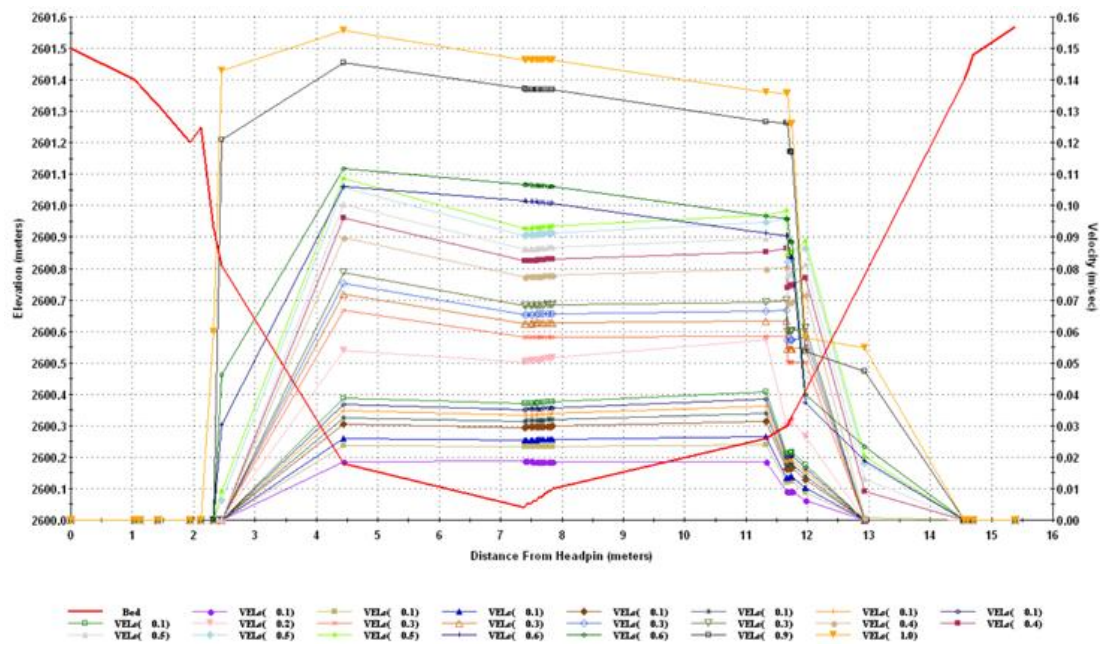
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+196 del Modelo No. 5
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



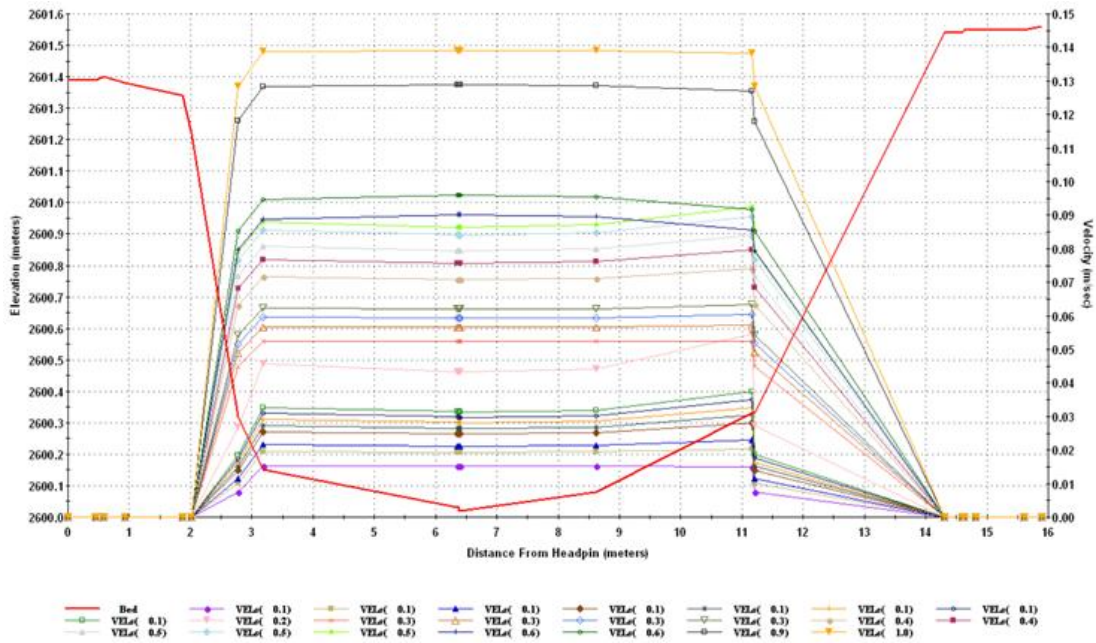
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+255 del Modelo No. 5
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



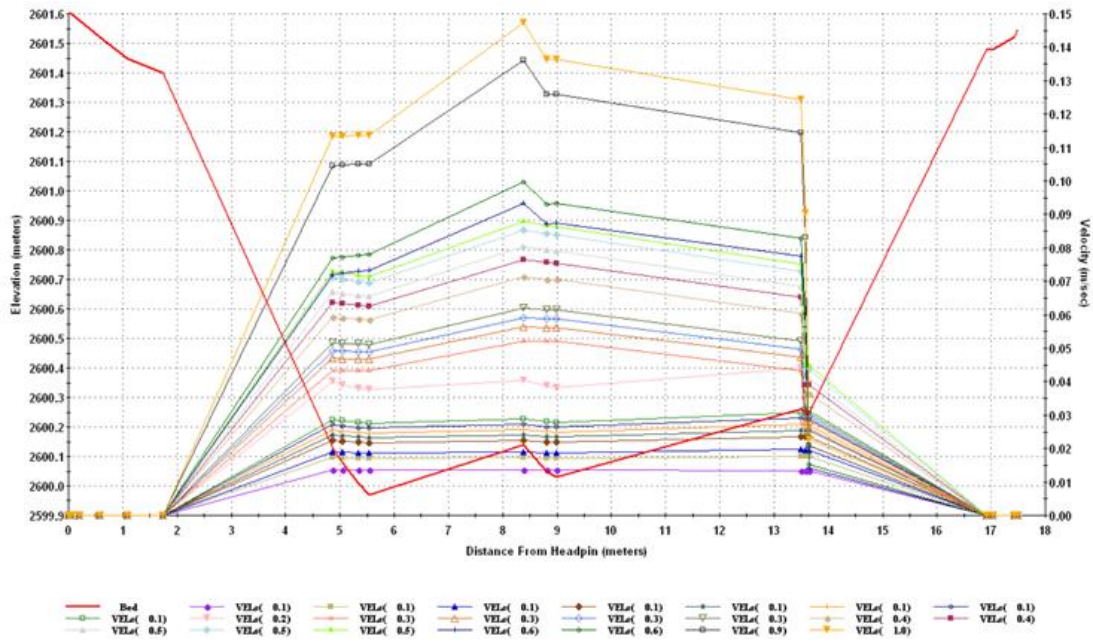
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+277 del Modelo No. 5
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



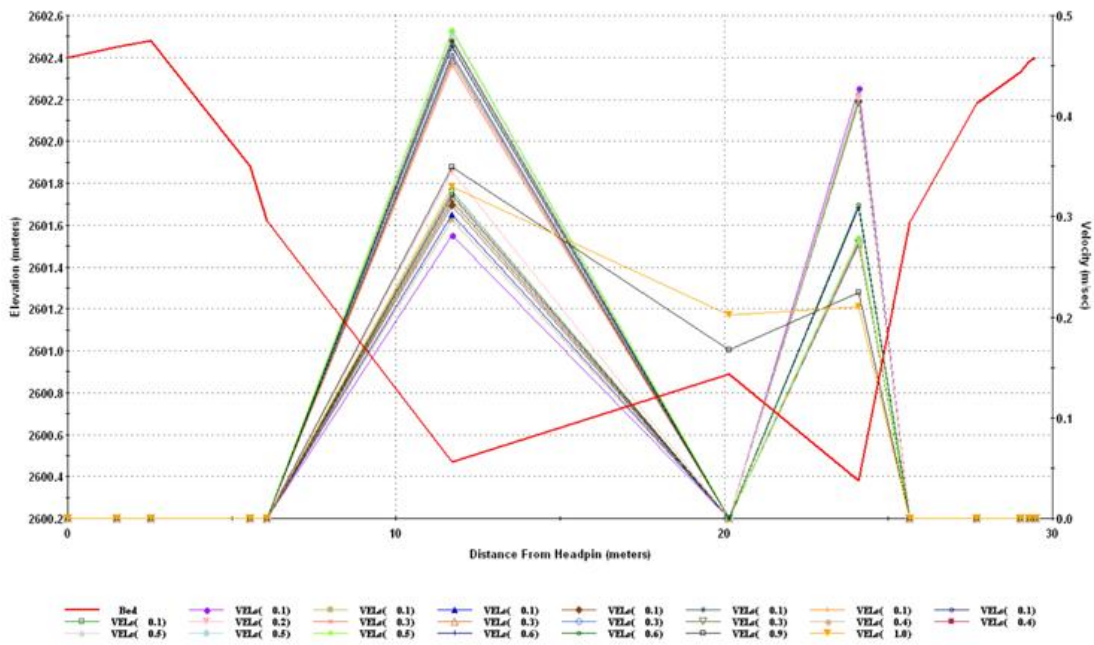
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+315 del Modelo No. 5
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



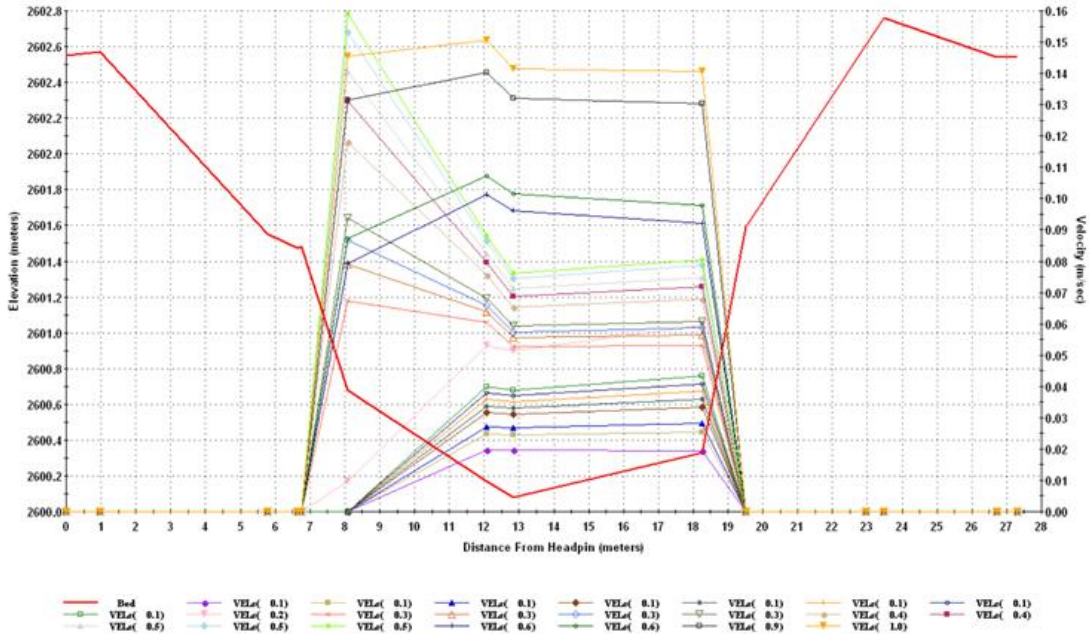
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+357 del Modelo No. 5
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



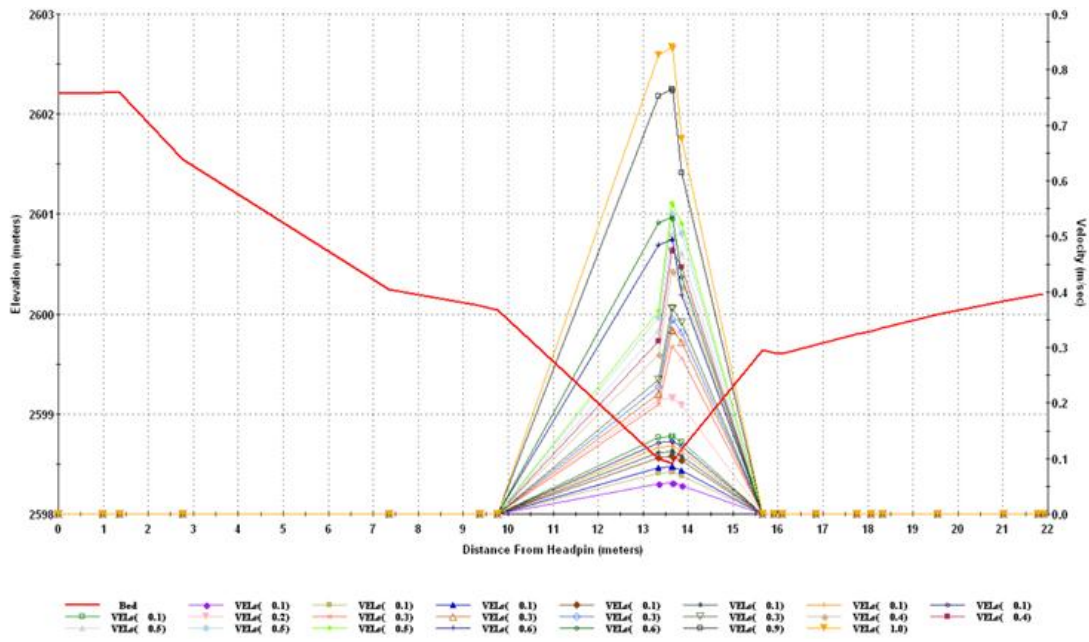
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+409 del Modelo No. 6
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



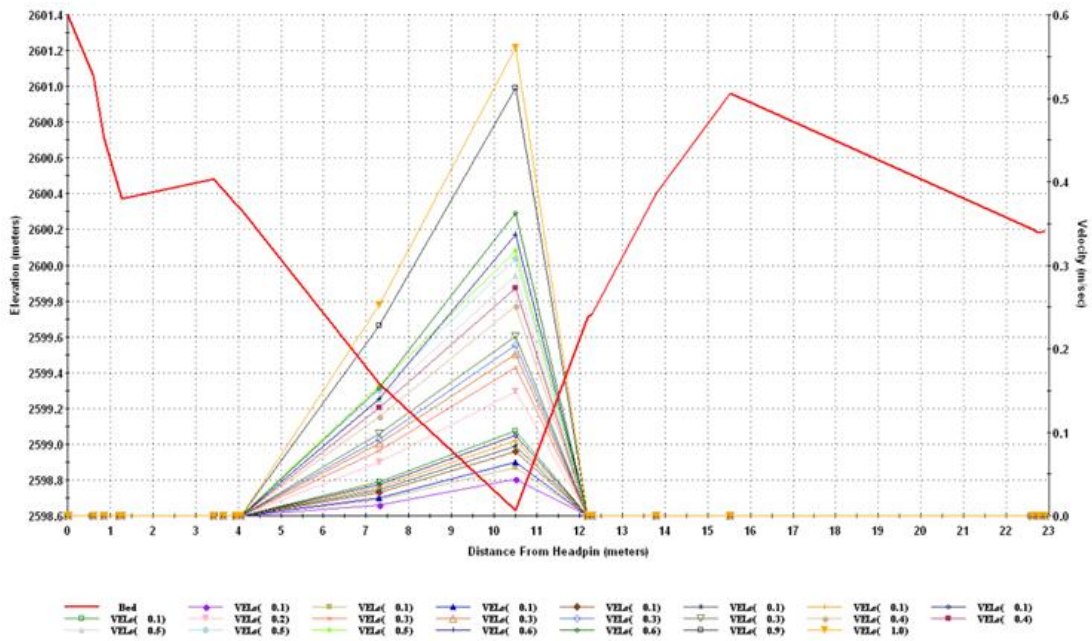
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+459 del Modelo No. 6
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



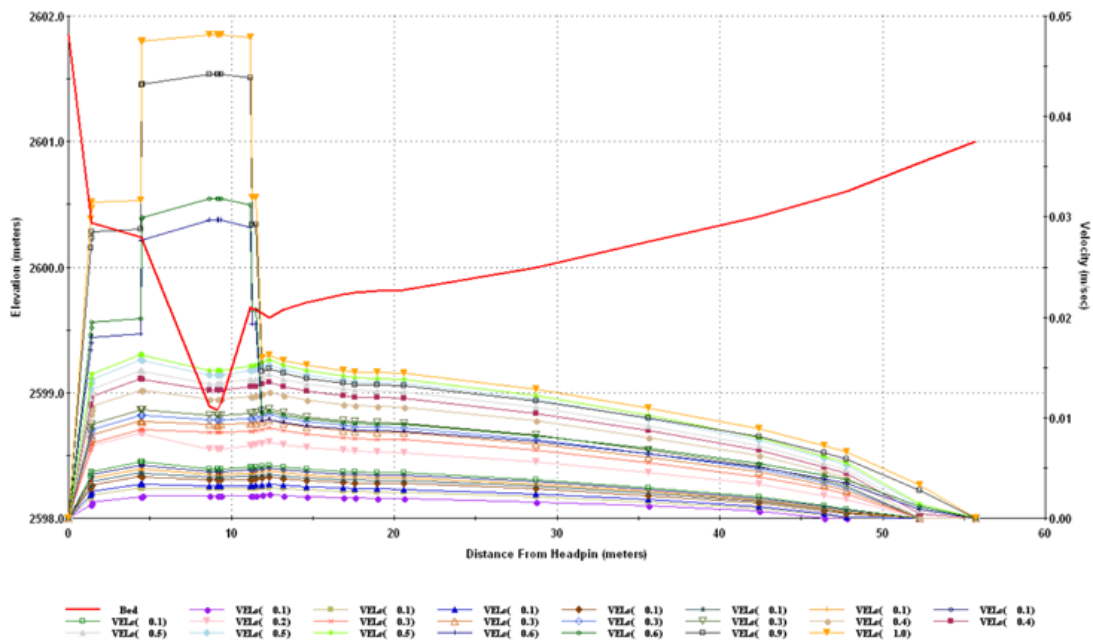
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+509 del Modelo No. 6
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



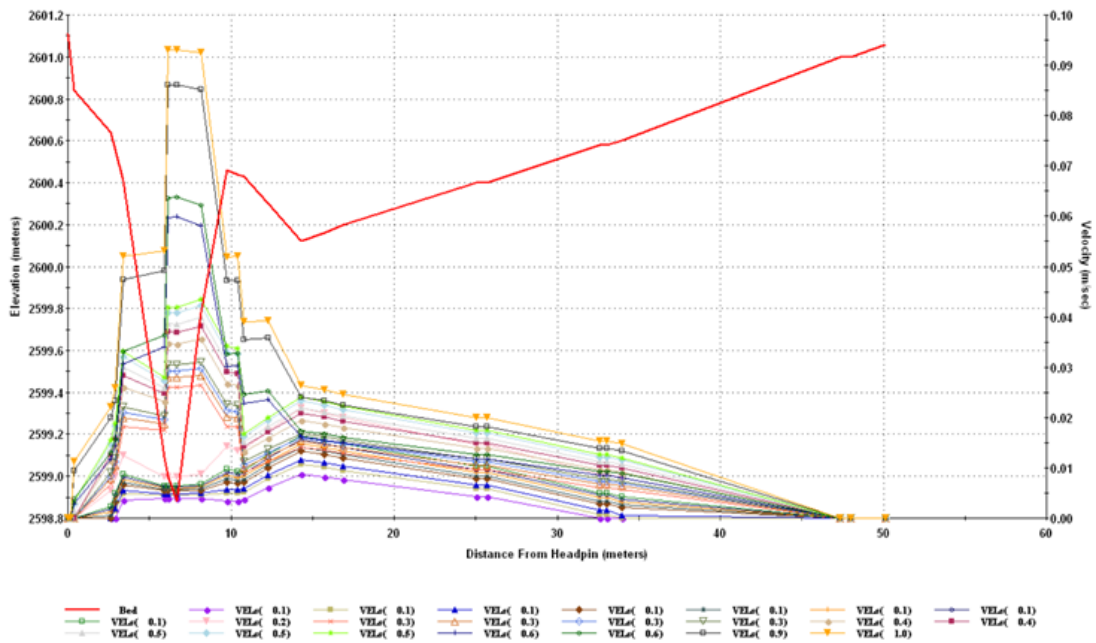
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+548 del Modelo No. 6
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



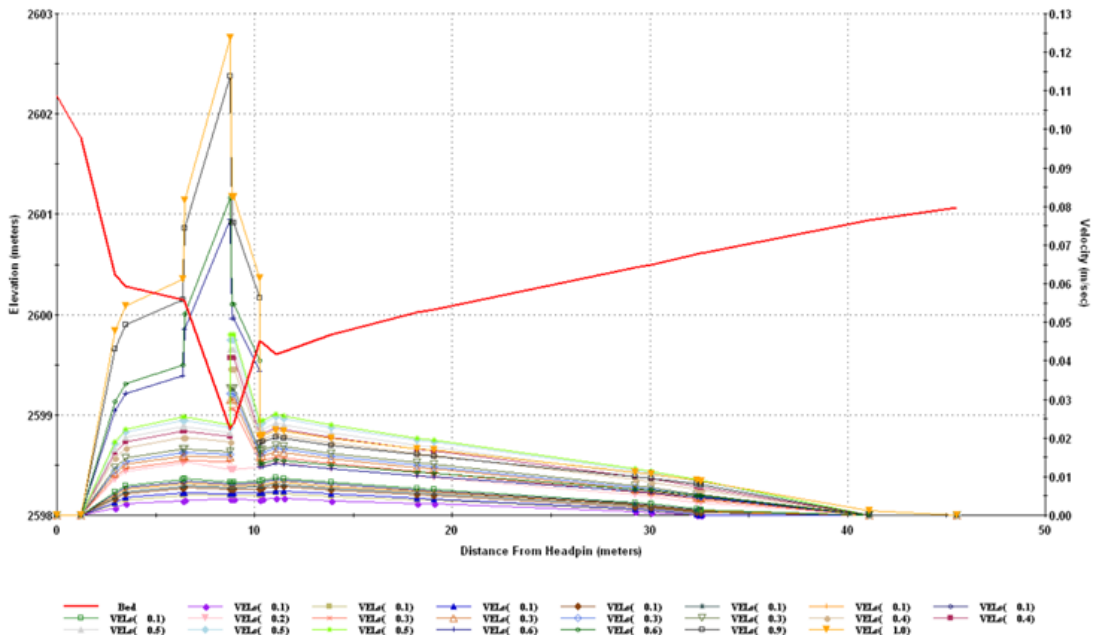
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+588 del Modelo No. 6. Fuente:
Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



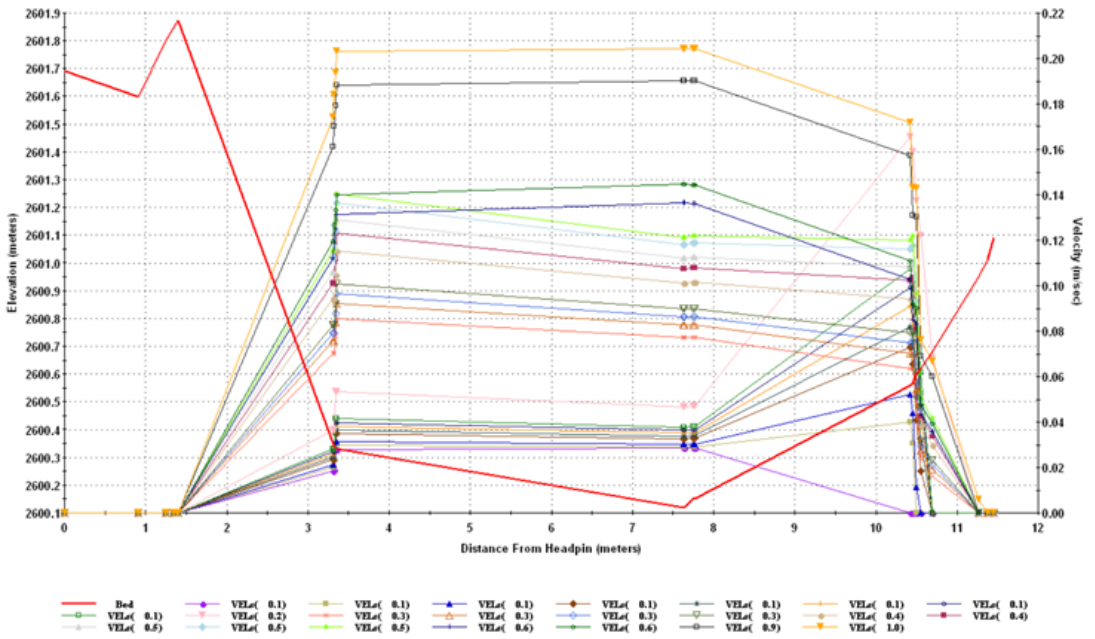
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+627 del Modelo No. 6
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



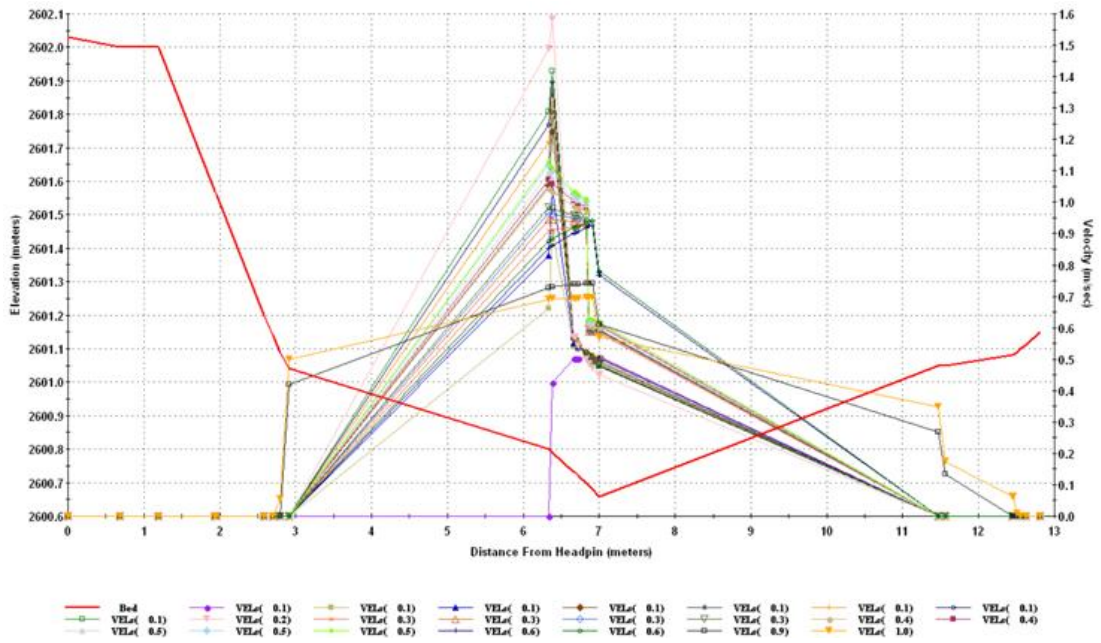
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+668 del Modelo No. 6.
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



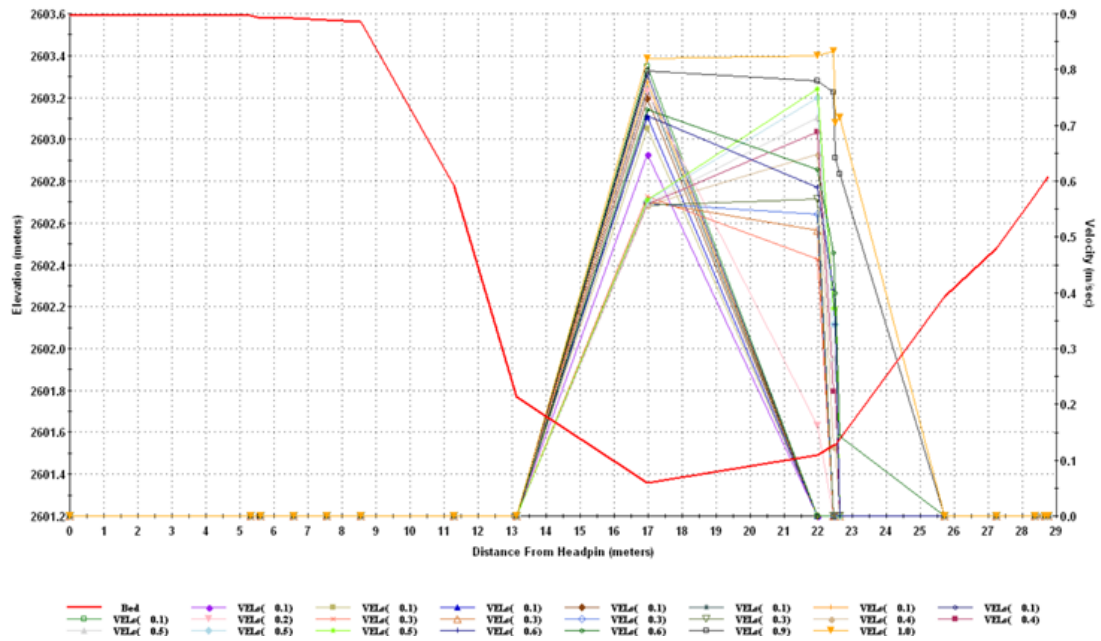
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+687 del Modelo No. 6
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



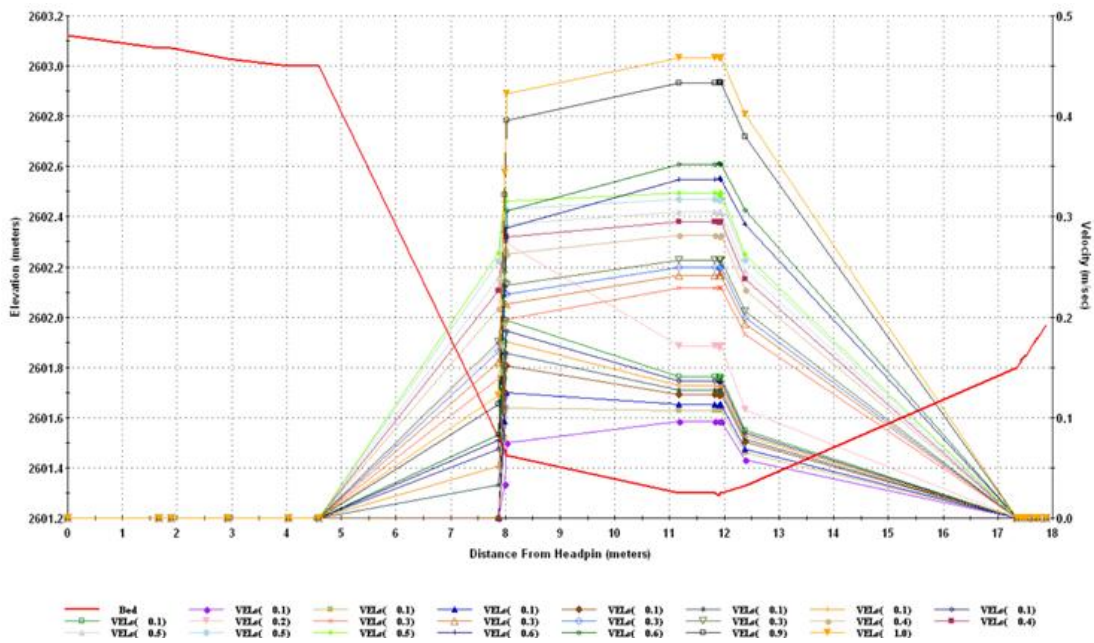
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+755 del Modelo No. 6
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



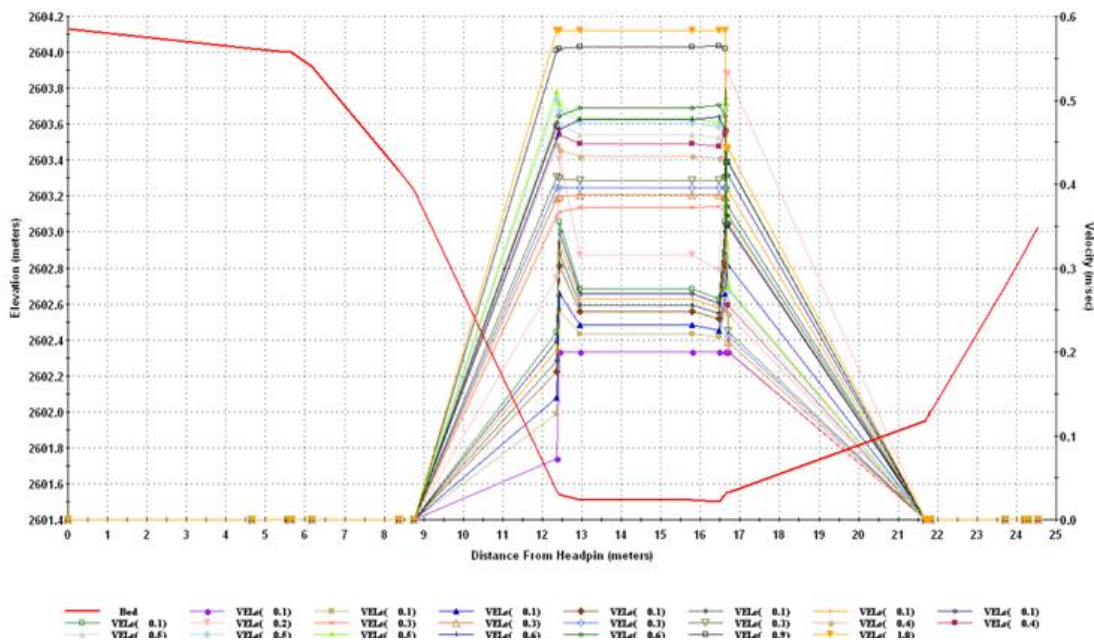
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+824 del Modelo No. 7
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



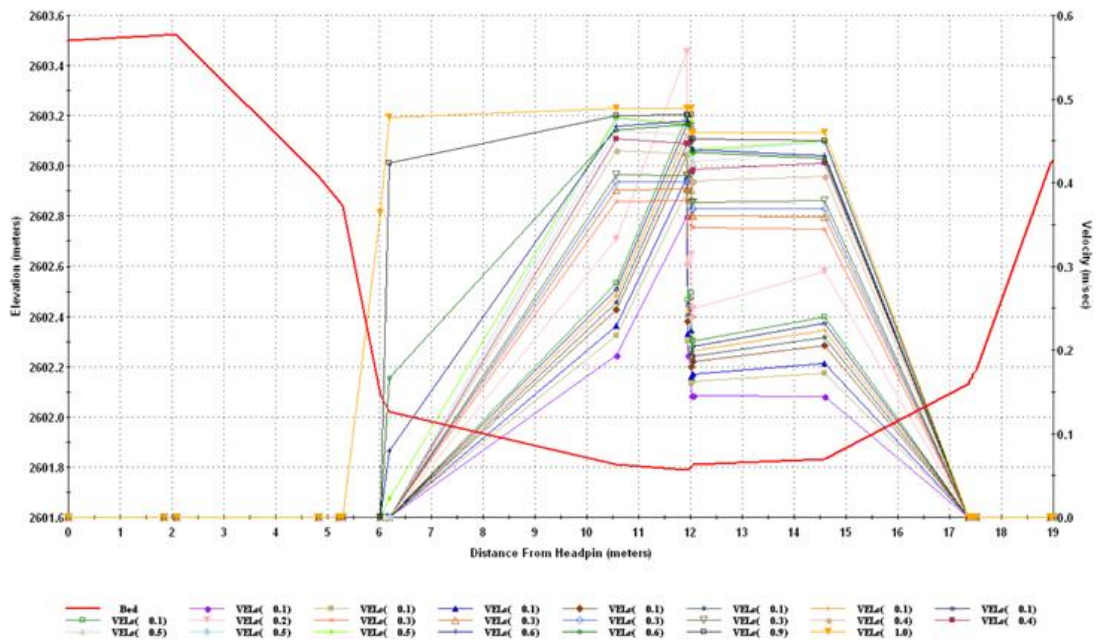
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+409 del Modelo No. 6
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



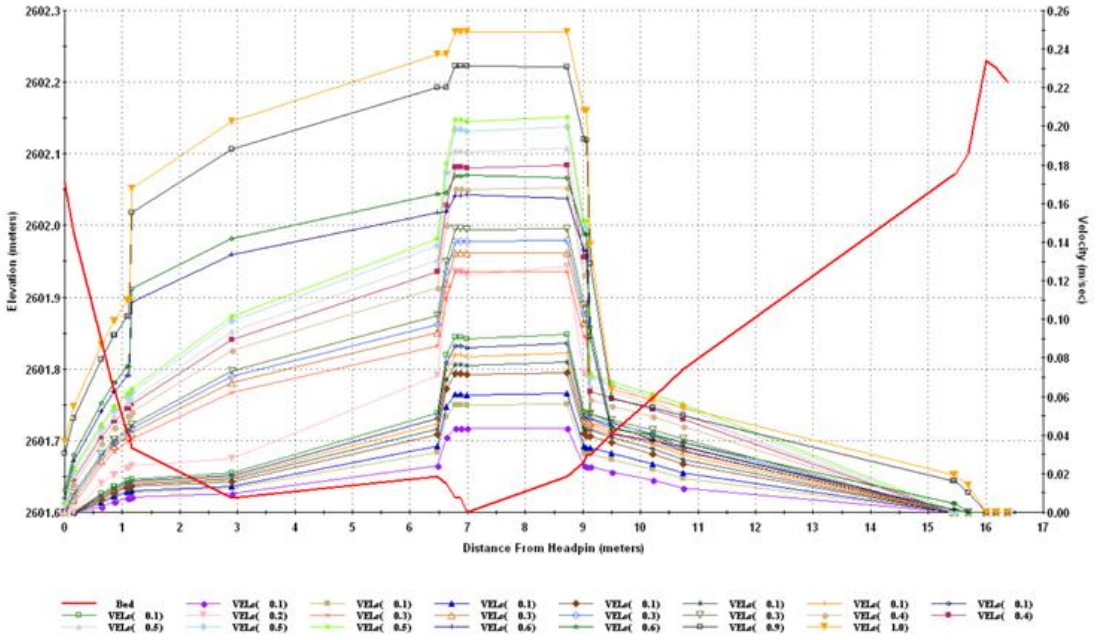
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k1+970 del Modelo No. 7
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



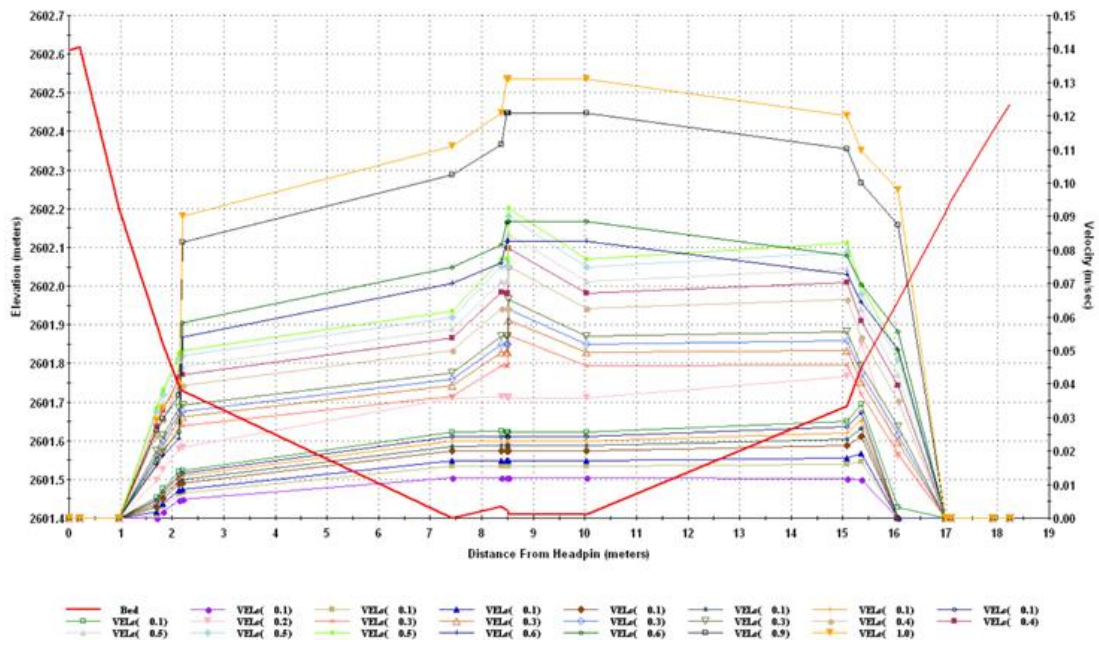
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+022 del Modelo No. 7
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



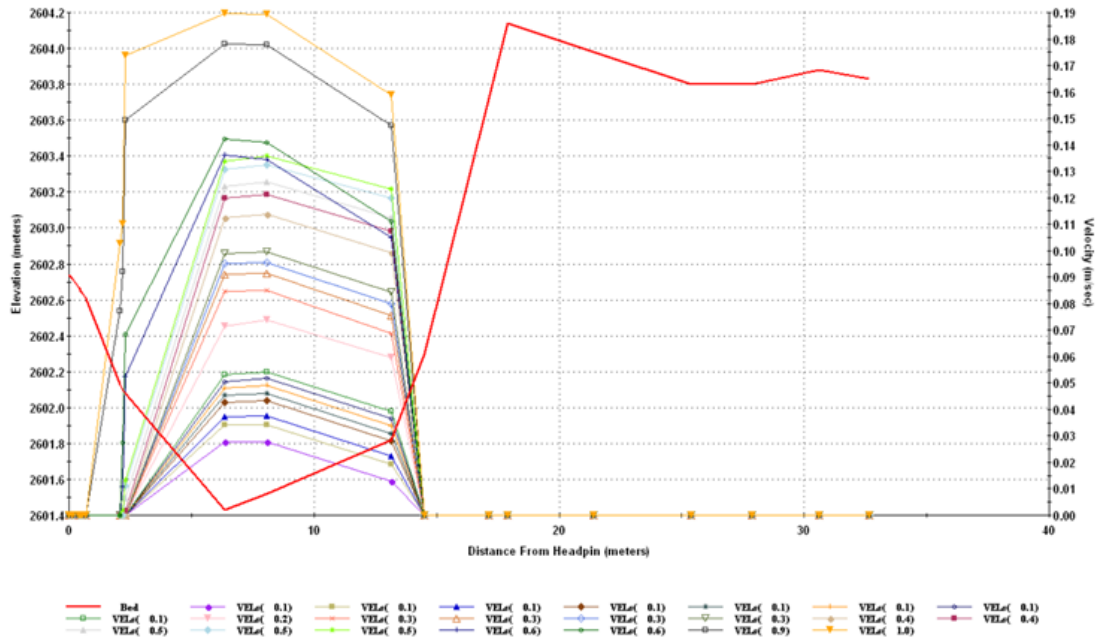
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+120 del Modelo No. 7
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



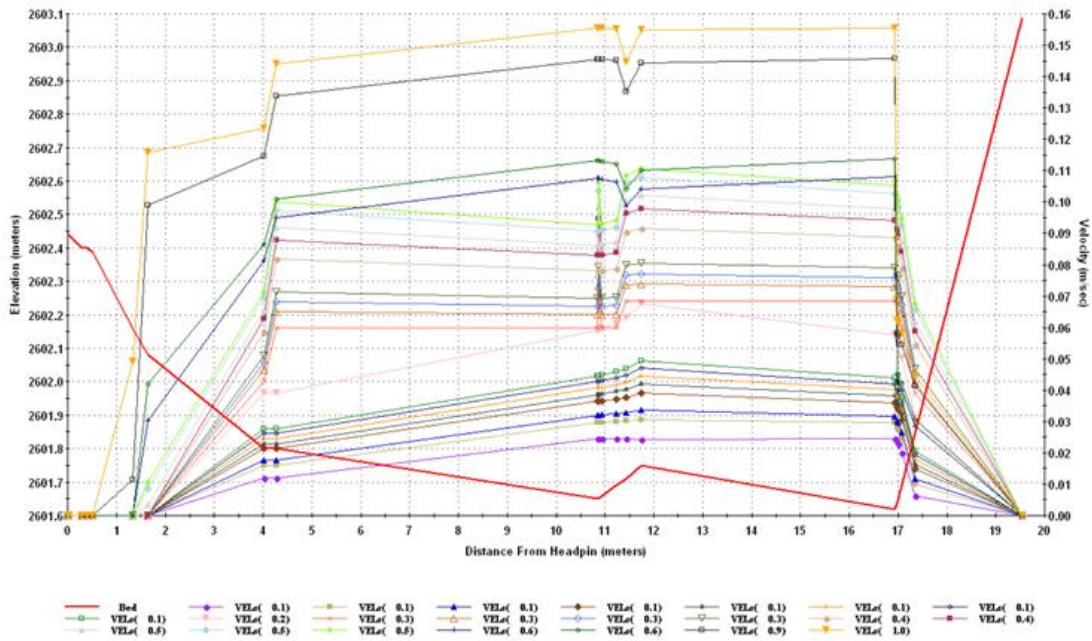
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+153 del Modelo No. 8
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



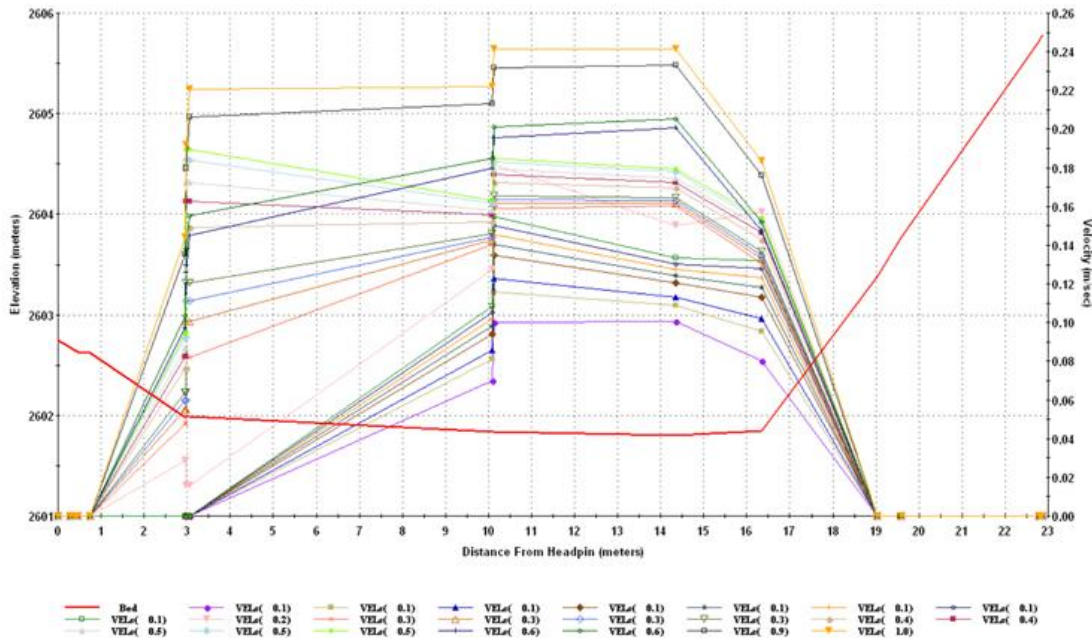
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+329 del Modelo No. 8
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



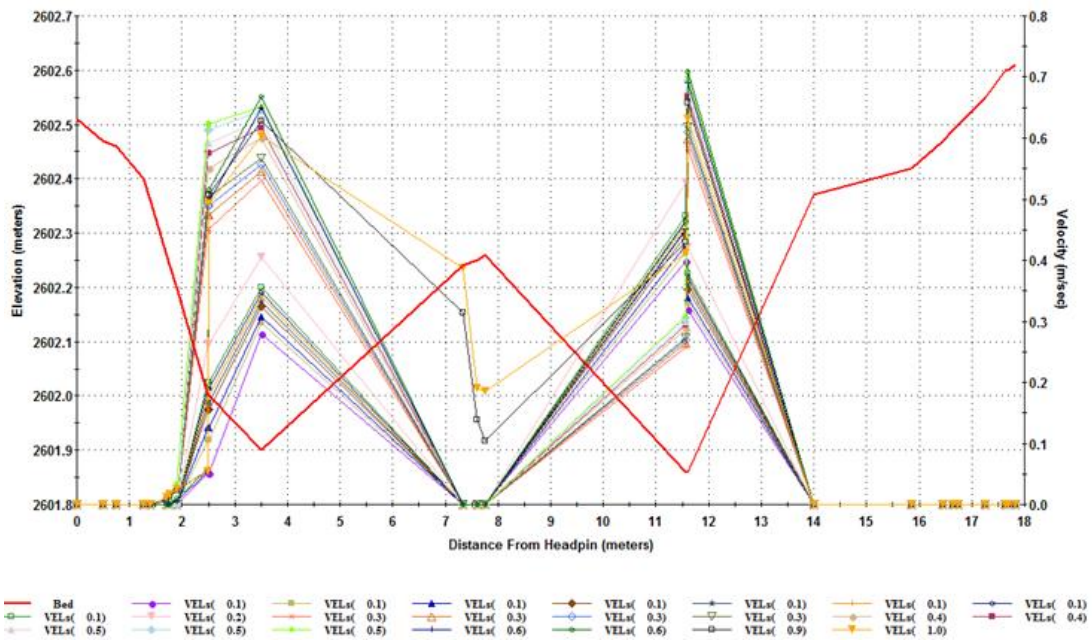
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+369 del Modelo No. 8
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



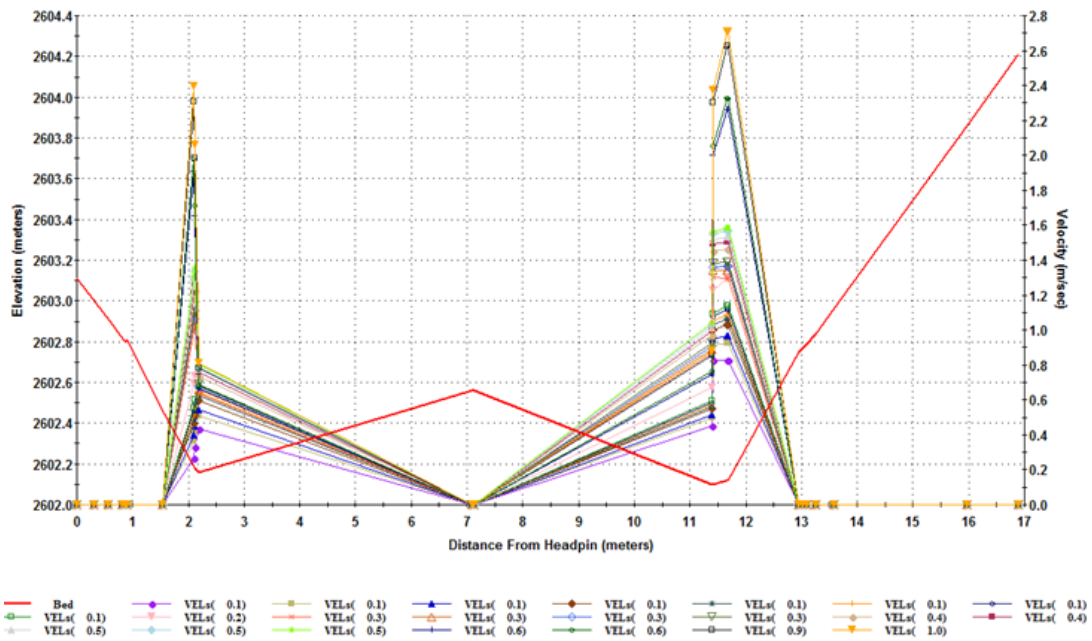
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+405 del Modelo No. 8
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



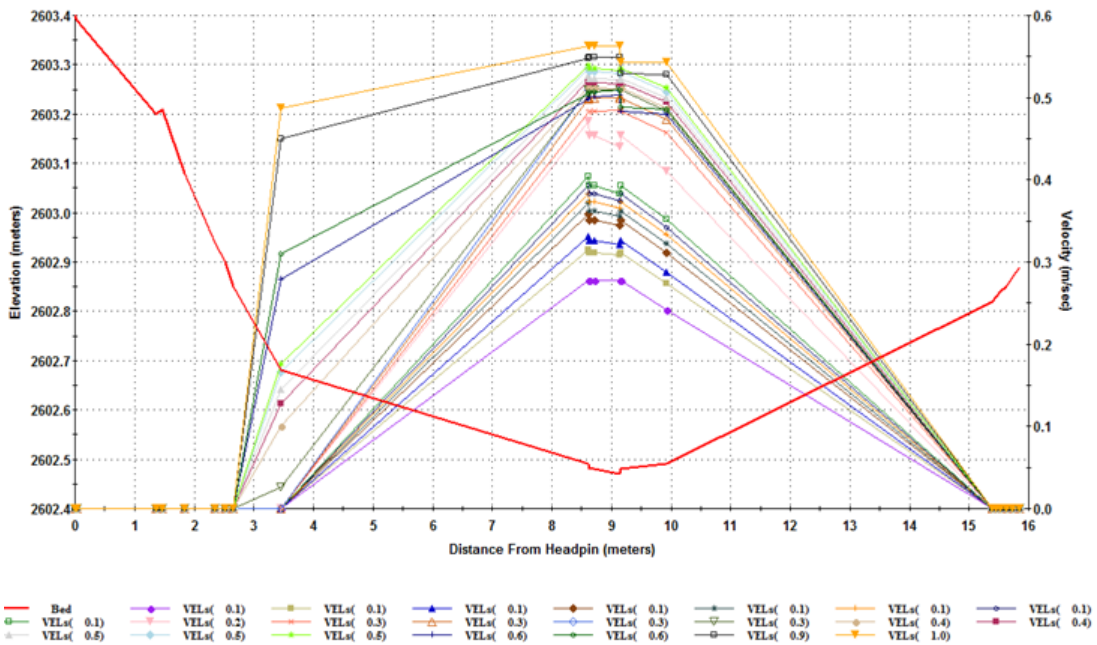
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+453 del Modelo No. 8
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



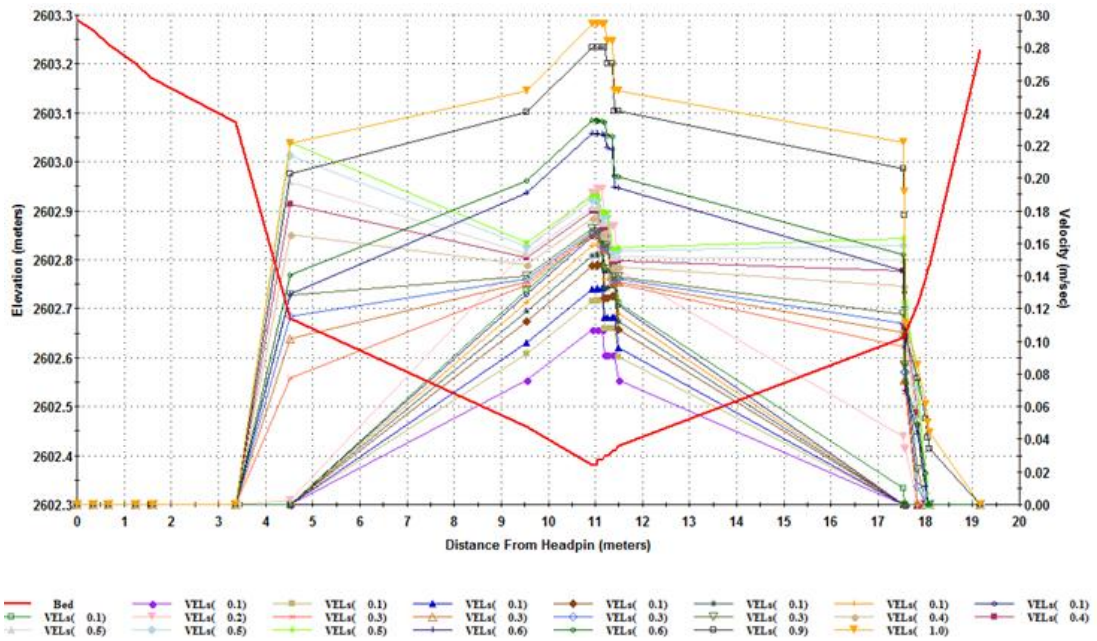
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+545 del Modelo No. 9
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



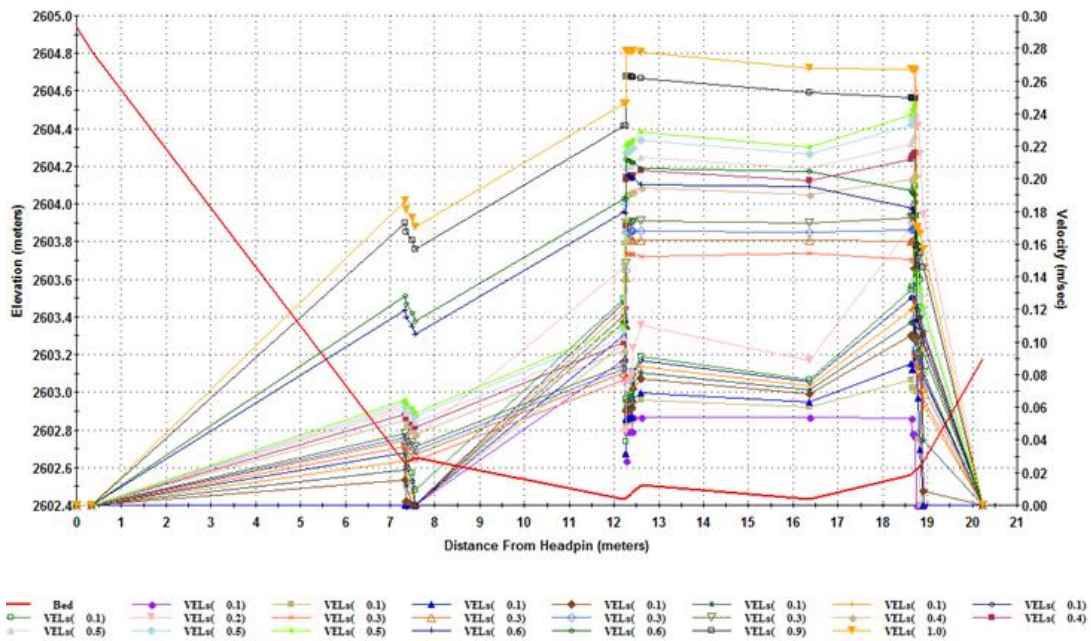
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+581 del Modelo No. 9
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



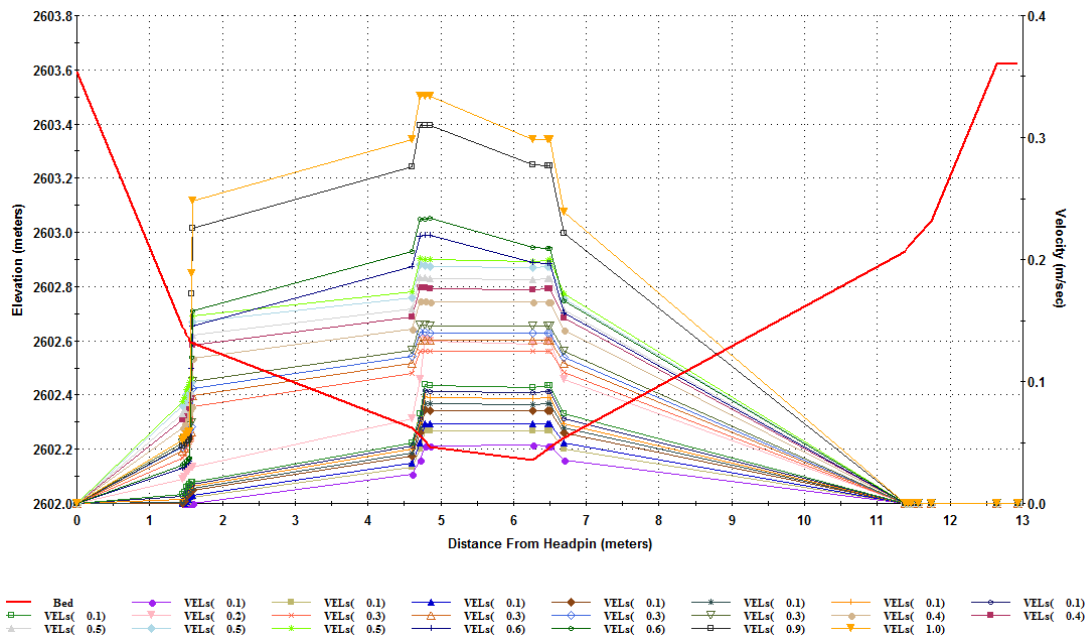
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+650 del Modelo No. 9
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



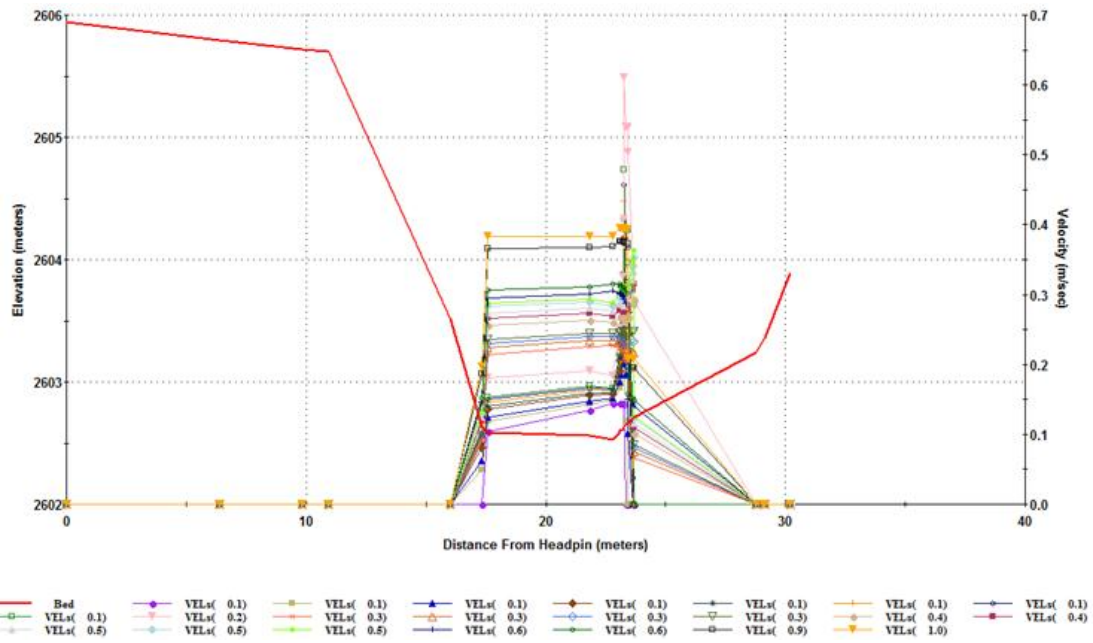
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+707 del Modelo No. 9
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



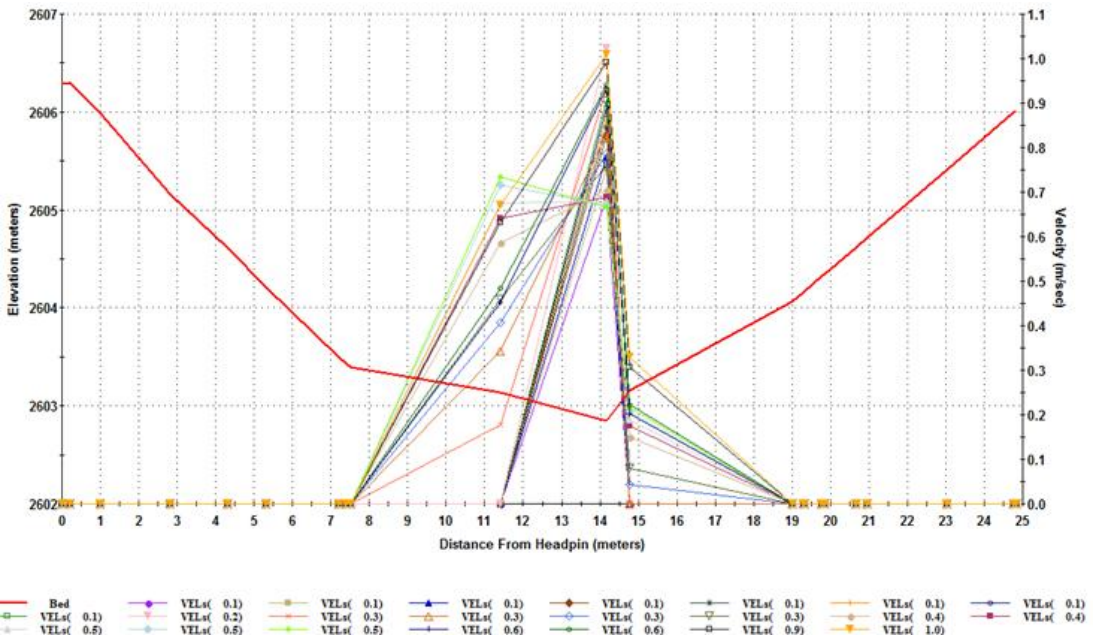
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+748 del Modelo No. 9
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



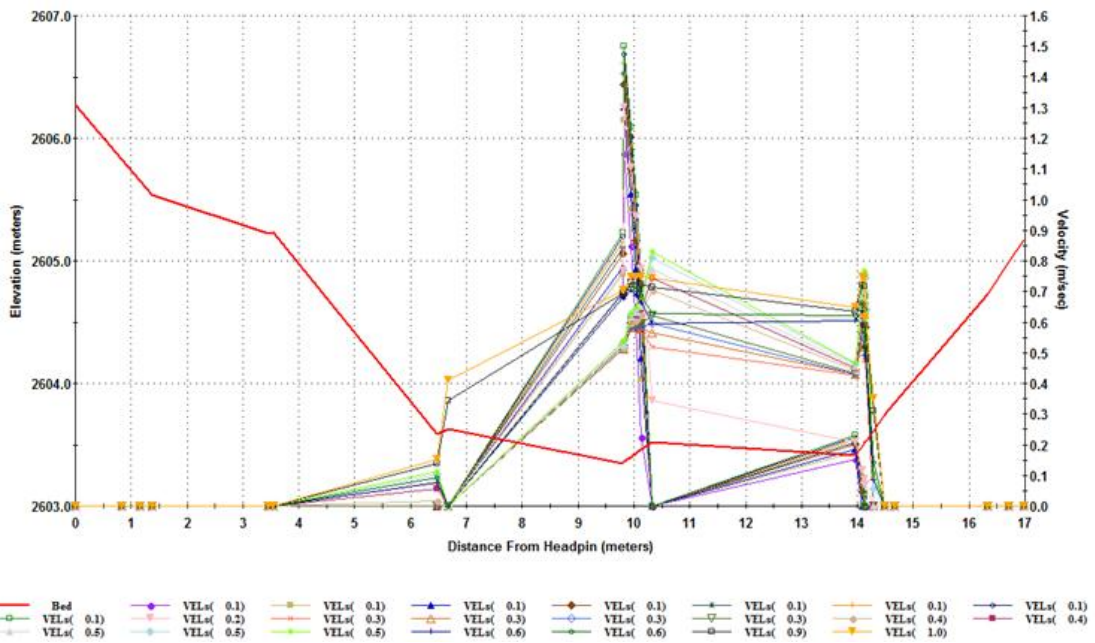
Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k2+870 del Modelo No. 9
Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k3+094 del Modelo No. 10
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k3+193 del Modelo No. 10
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM



Resultados de la modelación de la velocidad para la sección k3+254 del Modelo No. 10
 Fuente: Elaboración propia - Programa computacional PHABSIM