



Actualización del componente de oferta hídrica de la Evaluación Regional del Agua- ERA en la cuenca Media y Baja del Río Bogotá.

Stephany Julieth Camelo Jiménez

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 2018

**Actualización del componente de oferta hídrica de la Evaluación Regional del
Agua- ERA en la cuenca Media y Baja del Río Bogotá.**

Stephany Julieth Camelo Jiménez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):

Hernando Niño Parra

Línea de Investigación:

Manejo integral del recurso hídrico

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia

2018

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

A mis padres porque sin ellos no habría aprendido de esta linda carrera, por su perseverancia y constancia, a ellos va dirigido el trabajo de mi vida.

A Daniela Bautista porque me ha enseñado que a pesar de los retos que nos pone la vida podemos seguir adelante, por compartirme su corazón en este camino y brindarme su amistad, a ella le dedico este proyecto.

A todos mis compañeros y amigos, ya que mi desarrollo profesional y personal no sería el mismo sin ellos.

Agradecimientos

A mis padres por ser mi apoyo incondicional en este camino de formación, por siempre esperar lo mejor de mí y permitir que me adiestrara como un profesional de calidad, por enseñarme a que con esfuerzo y dedicación puedo lograr lo que quiero.

A mis amigos, ya que gracias a ellos soy la persona que soy y la profesional que llegaré a ser, porque hemos vivido buenos y malos momentos, porque a pesar de las circunstancias siempre hemos estado juntos. Gracias por compartir conmigo este camino.

A Stevens Robayo Gutierrez, por enseñarme lo necesario para culminar con este proyecto, por su paciencia y dedicación en toda nuestra práctica, gracias.

A la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR por permitirme realizar las prácticas empresariales junto con diferentes profesionales, que aportaron a mi vida y a mi carrera profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen.....	18
2. Abstract	19
3. Introducción	20
4. Pregunta problema	20
5. Planteamiento del problema	21
6. Justificación.....	22
7. Objetivos general y específicos	23
7.1 Objetivo general	23
7.2 Objetivos específicos.....	23
8. Marco de referencia.....	23
8.1 Marco teórico	23
8.2 Antecedentes	24
8.3 Estado del arte	24
8.4 Marco geográfico	26
8.4.1 Cuenca del Río Bogotá	26
8.4.2 Cuenca Media del Río Bogotá	28
8.4.3 Cuenca Baja del Río Bogotá	29
8.5 Marco legal.....	30
8.6 Marco institucional.....	32
8.7 Marco Conceptual	34
8.7.1 Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH).....	34
8.7.2 Estudio Nacional del Agua (ENA) 2014.....	34
8.7.3 Evaluación Regional del Agua (ERA).....	34
8.7.4 Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA	34
8.7.5 Características morfométricas y fisiográficas de la cuenca	35
8.7.6 Conceptos hidrológicos y meteorológicos	37
8.7.7 Indicadores hidrológicos	39
8.7.7.1 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)	39
8.7.7.2 Índice de Aridez (IA)	40
8.7.7.3 Índice de Uso del Agua (IUA)	40
8.7.7.4 Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVDH).....	41

8.7.8	Oferta hídrica	42
8.7.8.1	Oferta Hídrica Total Superficial – OHTS	42
8.7.8.2	Oferta Hídrica Total Disponible – OHTD.....	42
8.7.8.3	Oferta Hídrica Regional Disponible – OHRD	43
8.7.8.4	Oferta Hídrica Total Aprovechable – OHTA.....	43
9.	Metodología.....	43
9.1	Enfoque de la investigación	43
9.2	Alcance de la investigación.....	43
9.3	Método de la investigación.....	44
9.4	Cuadro metodológico	45
10.	Resultados y Análisis	47
10.1	Cuenca Media del Río Bogotá.....	47
10.1.1	Características morfométricas y fisiográficas de la subcuencas de tercer orden de la Cuenca Media del Río Bogotá	47
10.1.2	Red de estaciones hidrometeorológicas	48
10.1.3	Precipitación.....	50
10.1.4	Evapotranspiración potencial.....	54
10.1.5	Evapotranspiración Real	55
10.1.6	Escorrentía superficial total	56
10.1.7	Balance hídrico	59
10.1.8	Caudal Ambiental	67
10.1.9	Indicadores hidrológicos.....	72
10.1.9.1	Índice de Retención y Regulación hídrica - IRH	72
10.1.9.2	Índice de aridez – IA	73
10.1.9.3	Índice de Uso del Agua- IUA.....	82
10.1.9.4	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico-IVDH	91
10.1.10	Oferta hídrica.....	93
10.1.10.1	Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS).....	93
10.1.10.2	Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD)	94
10.1.10.3	Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD)	95
10.1.10.4	Oferta Hídrica Total Aprovechable (OHTA)	96
10.2	Cuenca Baja del Río Bogotá.....	98
10.2.1	Características morfométricas y fisiográficas de la subcuencas de tercer orden de la Cuenca Baja del Río Bogotá	98
10.2.2	Red de estaciones hidrometeorológicas	99

10.2.3	Precipitación.....	101
10.2.4	Evapotranspiración potencial – ETP.....	104
10.2.5	Evapotranspiración real – ETR.....	105
10.2.6	Escorrentía Superficial Total.....	106
10.2.7	Balance Hídrico.....	108
10.2.8	Caudal Ambiental.....	112
10.2.9	Indicadores hidrológicos.....	115
10.2.9.1	Índice de Retención y Regulación Hídrica – IRH.....	115
10.2.9.2	Índice de Aridez – IA.....	116
10.2.9.3	Índice de Uso del Agua – IUA.....	125
10.2.9.4	Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVDH).....	133
10.2.10	Oferta Hídrica.....	135
10.2.10.1	Oferta Hídrica Total Superficial – OHTS.....	135
10.2.10.2	Oferta Hídrica Total Disponible – OHTD.....	136
10.2.10.3	Oferta Hídrica Regional Disponible – OHRD.....	137
10.2.10.4	Oferta Hídrica Total Aprovechable – OHTA.....	138
11.	Conclusiones.....	140
12.	Recomendaciones.....	142
	Bibliografía.....	143

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Subcuencas de tercer orden del Río Bogotá.....	27
Tabla 2.	División Cuenca del Río Bogotá.....	28
Tabla 3.	Subcuencas Cuenca Media del Río Bogotá.....	28
Tabla 4.	Subcuencas de la Cuenca Baja del Río Bogotá.....	30
Tabla 5.	Marco legal para la Evaluación Regional del Agua (ERA).....	31
Tabla 6.	Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH).....	39
Tabla 7.	Categorías para el Índice de Aridez (IA).....	40
Tabla 8.	Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua (IUA).....	41
Tabla 9.	Matriz de relación para categorizar el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVDH).....	42
Tabla 10.	Cuadro metodológico por objetivos.....	45
Tabla 13.	Características morfométricas y fisiográficas de la Cuenca Media del Río Bogotá.....	47
Tabla 14.	Estaciones hidrometeorológicas de la Cuenca Media del Río Bogotá.....	49
Tabla 15.	Precipitación total mensual multianual (mm) de la cuenca Media del Río Bogotá.....	51

Tabla 16. Precipitación media (mm) de las siete subcuencas de la cuenca Media del Río Bogotá.	52
Tabla 17. Ecuaciones para ETP mensual	54
Tabla 18. ETP media mensual (mm) de las subcuencas de la Cuenca Media del Río Bogotá.	54
Tabla 19. ETR media mensual (mm) de las subcuencas de la cuenca Media del Río Bogotá.	55
Tabla 20. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Embalse del Muña	57
Tabla 21. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Balsillas.	58
Tabla 22. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Chicú.....	58
Tabla 23. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Negro.	58
Tabla 24. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Frío.....	58
Tabla 25. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Soacha.....	59
Tabla 26. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Teusacá.	59
Tabla 27. Balance Hídrico Subcuenca Embalse del Muña	60
Tabla 28. Balance Hídrico Subcuenca del Río Balsillas.....	61
Tabla 29. Balance hídrico Subcuenca del Río Chicú.	62
Tabla 30. Balance hídrico Subcuenca del Río Frío.....	63
Tabla 31. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Soacha.	64
Tabla 32. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Negro.....	65
Tabla 33. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Teusacá.....	66
Tabla 34. Resumen de caudales ambientales por cada subcuenca.....	71
Tabla 35. Comparación IRH 2014 vs. IRH actual.	72
Tabla 36. Índice de aridez medio mensual de la cuenca media del río Bogotá.	73
Tabla 37. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual -Embalse del Muña.....	74
Tabla 38. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual- Río balsillas	75
Tabla 39. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual- Río Frío.	75
Tabla 40. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual- Río Soacha.....	75
Tabla 41. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual- Río Teusacá.....	76
Tabla 42. Índice de Uso del Agua Subcuenca Embalse del Muña.....	82
Tabla 43. Índice de Uso del Agua Subcuenca del Río Balsillas	83
Tabla 44. Índice de Uso del Agua Subcuenca Río Frío.	83
Tabla 45. Índice de Uso del Agua Subcuenca Río Soacha.	83
Tabla 46. Resumen Índice de Uso del Agua para las Subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá.	90
Tabla 47. Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico de la Cuenca Media del Río Bogotá.	91
Tabla 48. Oferta Hídrica Total Superficial Cuenca Media del Río Bogotá.....	93
Tabla 49. Oferta Hídrica Total Disponible Cuenca Media del Río Bogotá.	95
Tabla 50. Oferta Hídrica Regional Disponible Cuenca Media del Río Bogotá.	96
Tabla 51. Oferta Hídrica Total Aprovechable Cuenca Media del Río Bogotá.	97
Tabla 52. Morfometría de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.	98
Tabla 53. Estaciones hidrometeorológicas de la cuenca Baja del Río Bogotá.	99
Tabla 54. Precipitación media mensual multianual de la cuenca Baja del Río Bogotá.	102
Tabla 55. Precipitación (mm) media mensual de cada subcuenca de la cuenca Baja del Río Bogotá.	103
Tabla 56. Ecuaciones para ETP mensual de la cuenca Baja del Río Bogotá.....	104

Tabla 57. ETP media mensual (mm) de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.....	104
Tabla 58. ETR media mensual (mm) de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.	105
Tabla 59. Comparación ETP y ETR con los valores de ETP y ETR del año 2014.	105
Tabla 60. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Bogotá (Sector Salto-Soacha).....	107
Tabla 61. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Calandaima.....	107
Tabla 62. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Medio Bogotá.....	107
Tabla 63. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Apulo.....	107
Tabla 64. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Bajo Bogotá.....	107
Tabla 65. Balance hídrico Subcuenca del Río Calandaima.	108
Tabla 66. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Medio Bogotá.....	109
Tabla 67. Balance hídrico Subcuenca del Río Apulo	110
Tabla 68. Balance hídrico Subcuenca del Río Bajo Bogotá.	111
Tabla 69. Caudal ambiental de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.....	115
Tabla 70. IRH 2013 vs. IRH actual de la cuenca Baja del Río Bogotá.	115
Tabla 71. Índice de Aridez – IA de la cuenca Baja del Río Bogotá.	116
Tabla 72. Comparación IA 2013 vs IA actual del Río Bogotá (Sector Salto-Soacha).	118
Tabla 73. Comparación IA 2013 vs IA actual del Río Calandaima.	118
Tabla 74. Comparación IA 2014 vs IA actual del Río Medio Bogotá.....	118
Tabla 75. Comparación IA 2014 vs. IA actual del Río Apulo.....	118
Tabla 76. Comparación IA 2014 vs. IA actual del Río Bajo Bogotá.....	119
Tabla 77. IUA 2014 vs. IUA actual del Río Calandaima.....	125
Tabla 78. IUA 2014 vs. IUA actual del Río Apulo.....	126
Tabla 79. IUA 2014 vs. IUA actual del Río Bajo Bogotá.....	126
Tabla 80. Índice de Uso del Agua – IUA de la cuenca Baja del río Bogotá.....	132
Tabla 81. Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico de la cuenca Baja del Río Bogotá.	134
Tabla 82. Oferta Hídrica Total Superficial (m ³ /s) de la cuenca Baja del Río Bogotá.....	135
Tabla 83. Oferta Hídrica Total Disponible (m ³ /s) de la cuenca Baja del Río Bogotá.....	136
Tabla 84. Oferta Hídrica Regional Disponible (m ³ /s) de la cuenca Baja del Río Bogotá.....	137
Tabla 85. Oferta Hídrica Total Aprovechable (m ³ /s) de la cuenca Baja del Río Bogotá.....	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la Cuenca del Río Bogotá.....	27
Figura 2. Localización geográfica de la Cuenca Media del Río Bogotá	29
Figura 3. Localización geográfica de la Cuenca Baja del Río Bogotá	30
Figura 4. Estructura organizacional de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR33	
Figura 5. Red hidrometeorológica de la Cuenca Media del Río Bogotá.	50
Figura 6. Precipitación media de la Cuenca Media del Río Bogotá.	53
Figura 7. Precipitación media de la cuenca Media del Río Bogotá. 2017 vs. ERA 2014.	56

Figura 8.	Balance hídrico Subcuenca Embalse del Muña.....	60
Figura 9.	Balance hídrico Subcuenca del Río Balsillas.	61
Figura 10.	Balance hídrico Subcuenca del Río Chicú.	62
Figura 11.	Balance hídrico Subcuenca del Río Frío.	63
Figura 12.	Balance hídrico de la Subcuenca del Río Soacha.....	64
Figura 13.	Balance hídrico de la Subcuenca del Río Negro.	65
Figura 14.	Balance hídrico de la Subcuenca del Río Teusacá.	66
Figura 15.	Curva de duración Subcuenca Embalse del Muña.	67
Figura 16.	Curva de duración del Río Balsillas.	68
Figura 17.	Curva de duración de la subcuenca del Río Chicú.	68
Figura 18.	Curva de duración subcuenca del Río Frío.....	69
Figura 19.	Curva de duración de la subcuenca del Río Soacha.	69
Figura 20.	Curva de duración de la Subcuenca de Río Negro.	70
Figura 21.	Curva de duración de la subcuenca del Río Teusacá alto.	71
Figura 22.	Índice de Regulación y Retención Hídrica Cuenca Media del Río Bogotá.	73
Figura 23.	Índice de Aridez Anual de la Cuenca Media del Río Bogotá.....	74
Figura 24.	Índice de Aridez del mes de enero de la Cuenca Media del Río Bogotá.	76
Figura 25.	Índice de Aridez (febrero-abril) de la Cuenca Media del Río Bogotá.	77
Figura 26.	Índice de Aridez (mayo-julio) de la Cuenca Media del Río Bogotá.	78
Figura 27.	Índice de Aridez (agosto-octubre) de la Cuenca Media del Río Bogotá.	79
Figura 28.	Índice de Aridez (noviembre - diciembre) de la Cuenca Media del Río Bogotá.	80
Figura 29.	Índice de uso del Agua (enero-febrero) cuenca Media del Río Bogotá.	84
Figura 30.	Índice de Uso del Agua (marzo-mayo) de la Cuenca Media del Río Bogotá.	85
Figura 31.	Índice de Uso del Agua (junio-agosto) de la Cuenca Media del Río Bogotá.....	86
Figura 32.	Índice de Uso del Agua (septiembre-noviembre) de la Cuenca Media del Río Bogotá.....	88
Figura 33.	Índice de Uso del Agua del mes de diciembre de la Cuenca Media del Río Bogotá.	88
Figura 34.	Índice de Uso del Agua anual de la Cuenca Media del Río Bogotá.....	91
Figura 35.	Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico de la Cuenca Media del Río Bogotá.	93
Figura 36.	Oferta Hídrica Total Superficial 2017 vs 2014.	94
Figura 37.	Oferta Hídrica Total Disponible del 2017 vs. 2017.	95
Figura 38.	Oferta Hídrica Regional Disponible 2017 vs. 2014.	96
Figura 39.	Oferta Hídrica Total Aprovechable 2017 vs 2014.	97
Figura 40.	Red hidrometeorológica de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	101
Figura 41.	Precipitación total (mm) de la cuenca Baja del Río Bogotá.....	103
Figura 42.	Precipitación (mm) 2017 vs. Precipitación 2014 de la cuenca Baja del Río Bogotá.	106
Figura 43.	Balance hídrico Subcuenca del Río Calandaima.	109
Figura 44.	Balance hídrico de la Subcuenca del Río Medio Bogotá.	110
Figura 45.	Balance hídrico Subcuenca del Río Apulo.....	111
Figura 46.	Balance hídrico Subcuenca del Río Bajo Bogotá.....	112
Figura 47.	Curva de duración de caudales medios mensuales del Río Calandaima.	113

Figura 48. Curva de duración de caudales medios mensuales del Río Apulo.	114
Figura 49. Curva de duración de caudales medios mensuales del Río Bajo Bogotá.....	114
Figura 50. Índice de Regulación y Retención Hídrica de la Cuenca Baja del Río Bogotá.....	116
Figura 51. Índice de Aridez de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	117
Figura 52. Índice de Aridez del mes de enero de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	119
Figura 53. Índice de Aridez (febrero-abril) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	120
Figura 54. Índice de Aridez (mayo-julio) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	121
Figura 55. Índice de Aridez (agosto - octubre) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.....	122
Figura 56. Índice de Aridez (noviembre – diciembre) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	123
Figura 57. Índice de Uso del Agua (enero-marzo) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	126
Figura 58. Índice de Uso del Agua (abril-junio) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.....	127
Figura 59. Índice de Uso del Agua (julio-septiembre) de la Cuenca baja del Río Bogotá.	128
Figura 60. Índice de Uso del Agua (octubre-diciembre) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	129
Figura 61. Índice de Uso del Agua anual de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	133
Figura 62. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento hídrico de la Cuenca Baja del Río Bogotá.	135
Figura 63. Oferta Hídrica Total Superficial 2017 vs. 2014.	136
Figura 64. Oferta Hídrica Total disponible 2017 vs. 2014	137
Figura 65. Oferta Hídrica Regional Disponible 2017 vs. 2014	138
Figura 66. Oferta Hídrica Regional Aprovechable 2017 vs. 2014	139

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Factor de forma (F)	35
Ecuación 2. Densidad de drenaje	35
Ecuación 3. Índice de compacidad (Kc)	36
Ecuación 4. Pendiente media de la cuenca (Lm)	36
Ecuación 5. Tiempo de concentración (Tc)	36
Ecuación 6. Evapotranspiración real.....	37
Ecuación 7. Escorrentía superficial.....	37
Ecuación 8. Balance hídrico.....	38
Ecuación 9. Balance hídrico cuencas reguladas.....	39
Ecuación 10. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)	39
Ecuación 11. Índice de Aridez (IA)	40
Ecuación 12. Índice de Uso del Agua	40
Ecuación 13. Demanda hídrica	40
Ecuación 14. Oferta hídrica superficial regional disponible	41
Ecuación 15. Fórmula de Budyco	55
Ecuación 16. Cálculo de escorrentía	57
Ecuación 17. Escorrentía en m ³ /s.....	57

Ecuación 18. Índice de Retención y Regulación Hídrica.....	72
Ecuación 19. Oferta Hídrica Total Aprovechable.....	97

1. Resumen

El presente documento muestra la actualización de la Evaluación Regional del Agua (ERA) del componente de oferta hídrica, para las subcuencas de tercer orden de la cuenca Media y Baja del Río Bogotá. Para ello, se tienen en cuenta referentes conceptuales tales como los lineamientos y metodologías presentadas por el IDEAM, *Lineamientos Metodológicos y conceptuales de las Evaluaciones regionales del Agua* y el Estudio Nacional del Agua (ENA), de tal forma, que se pueda tomar como base estos documentos, para la posterior determinación de la oferta hídrica y, asimismo, conocer el estado actual en el que se encuentran dichas cuencas hidrográficas.

Para la realización del estudio, se consideran los datos de precipitación y las series de caudales medios mensuales de cada subcuenca (estaciones de cierre o modelo) con el fin de estimar la escorrentía superficial y su aplicación en el balance hídrico; asimismo, determinar los indicadores hidrológicos (Índice de Retención y Regulación Hídrica, Índice de Vulnerabilidad, Índice de aridez e Índice de Uso del Agua), los cuales, servirán como base para la planificación y manejo adecuado del recurso hídrico.

Por último, se establecen las recomendaciones orientadas al mejoramiento de la red hidrometeorológica de estaciones para la Cuenca Media y Baja del Río Bogotá, así como la optimización del modelo hidrológico usado para la determinación de la oferta hídrica de algunas subcuencas y fortalecimiento del grupo de trabajo de la CAR encargado de la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Palabras clave: Oferta Hídrica, Indicadores Hidrológicos, Balance hídrico, caudal ambiental, demanda hídrica.

2. Abstract

This document shows the update of the Evaluación Regional del Agua (ERA) of the water supply component, for the sub-basins of third order of the middle and lower basin of Río Bogotá. For this, are taken into account conceptual references such as the guidelines and methodologies presented by the IDEAM, *Lineamientos Metodológicos y conceptuales de las Evaluaciones regionales del Agua* and the Estudio Nacional del Agua (ENA), in such a way, that these documents can be taken as a basis for the subsequent determination of the water supply, also, know the current state in which these watersheds are.

For the realization of the study, are considered the precipitation data and the series of monthly average flow of each sub-basin (closing station or model) with the purpose of estimate the surface runoff and its application in the water balance; likewise, determine the hydrological indicators (Índice de Retención y Regulación Hídrica, Índice de Vulnerabilidad, Índice de aridez e Índice de Uso del Agua), which, will serve as a basis for planning and proper management of water resources.

Lastly, are established the recommendations for the improvement of the hydrometeorological network of stations for the middle and lower basins of the Río Bogotá, as well as, the optimization of the hydrological model used for the determination of the water supply of some sub-basins and strengthening of working group of the CAR in charge of the Integral Management of the Water Resource.

Keywords: Water supply, hydrological indicators, water balance, environmental flow, water demand.

3. Introducción

La Evaluación Regional del Agua (ERA), nació como una estrategia para la obtención de información de manera actualizada de los fenómenos que se presentan y afectan el recurso hídrico a nivel regional, para que sirvan de sustento en la planificación y toma de decisiones por parte de las Corporaciones, obteniendo como resultado la mejora de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH).

Esta iniciativa avalada por el IDEAM, toma como base el Estudio Nacional del Agua (ENA), en cuanto a sus metodologías y conceptos, para ser ampliados y trabajados de manera específica en la ERA. Con lo anterior, se establece un documento con los *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua* (2013), como fundamento para el desarrollo del mismo por parte de las Corporaciones Autónomas Regionales, de tal forma, que los resultados obtenidos puedan ser usados como apoyo a la formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAs), Planes de Gestión Ambiental Regional (PGAR) y para Planes de Ordenamiento Territorial (POT).

La ERA del recurso hídrico superficial está compuesta principalmente por la oferta, demanda, calidad y riesgos de origen natural y antrópico que determinan el comportamiento del recurso y la calidad del mismo. Dentro de este estudio, se tratará el componente de oferta hídrica superficial, el cual permite conocer la cantidad de agua que es disponible para ser aprovechada y así tomar las respectivas acciones para la gestión integral del recurso.

4. Pregunta problema

¿Qué información existente se debe incluir en la actualización de la Evaluación Regional del Agua (ERA) del componente de oferta hídrica superficial?

5. Planteamiento del problema

El cambio climático resultado no solo de las interacciones entre los ciclos biogeoquímicos, sino de las alteraciones antrópicas (vertimientos de residuos peligrosos, accidentes nucleares, derramamientos de petróleo, entre otros) que se han realizado de los mismos, han provocado en gran medida el desequilibrio del clima (Serna, Vélez, & Londoño, 2016). En Colombia, el cambio climático ha ido en aumento y su tendencia a futuro no es alterada, en consecuencia, el aumento de la temperatura ha desencadenado la pérdida de ocho glaciares tropicales, disminución de la capa de hielo en los nevados y, asimismo, la pérdida de ecosistemas estratégicos como los páramos, que suponen un problema para el abastecimiento de agua para grandes ciudades como Bogotá y Medellín (Hurtado & Mesa, 2015).

Por tal razón, las fuentes hídricas se están viendo afectadas y se vuelve de suma importancia realizar estudios y análisis hídricos que permitan conocer el porcentaje que será destinado para abastecer las diferentes actividades domésticas, industriales o agropecuarias y así, tomar las decisiones adecuadas para el manejo integrado del mismo. Por consiguiente, la Evaluación Regional del Agua se convierte en un factor fundamental para el desarrollo de estos estudios, debido a que indaga acerca del comportamiento actual y las tendencias que tienen los cuerpos hídricos, por lo que éste debe ser actualizado periódicamente para que la efectividad en la toma de decisiones acerca del recurso sea más efectiva (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2013).

Por lo tanto, y en concordancia con el Decreto 1640 del 2012 (Alcaldía de Bogotá, 2012), donde las autoridades ambientales deben realizar el debido estudio de la oferta, demanda, calidad y análisis de riesgos asociados a las cuencas hidrográficas de su jurisdicción y el cual debe actualizarse constantemente, se evidencia que, la última Evaluación Regional del Agua se realizó hace 4 años, lo cual, ha hecho que la toma de decisiones acerca del uso y manejo adecuado del recurso sea menos efectiva a la hora de ejecutar cualquier medida.

Sumado a lo anterior, la información hidrológica en Colombia es escasa, principalmente por ausencia de estaciones hidrometeorológicas que tengan amplia cobertura espacial y temporal, dejando como resultado, un insuficiente conocimiento del territorio evaluado, eso sin tener en cuenta los problemas para una debida planificación del territorio, prevención de desastres y discernir acerca de los cambios del clima (Hurtado & Mesa, 2015).

6. Justificación

El Proyecto surge como un requisito para cumplir con lo establecido en el artículo 8 del Decreto 1640 del 2012, en cuanto a la realización y actualización de Evaluaciones Regionales del Agua (ERA) de manera periódica, para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos y que además, toda Corporación Autónoma debe implementar en las zonas de su jurisdicción (Alcaldía de Bogotá, 2012). Para el desarrollo de lo anterior, se toma como referencia la red de estaciones hidrometeorológicas, que son las que contienen información de más de 20 años acerca de las series históricas del recurso hídrico, lo cual mejora en gran medida la representatividad que tienen los cálculos a la hora de ser actualizados. Éstas se encuentran administradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (Penagos, 2014).

Sin embargo, la última actualización de la ERA se realizó hace 4 años, obteniendo un conocimiento del estado actual del recurso no representativo y, por consiguiente, debilita la toma de decisiones acerca de la Gestión Integral del recurso hídrico para que se puedan formular y actualizar los diferentes planes, programas y proyectos enfocados al cumplimiento de la política de gestión del recurso hídrico. La importancia de actualizarse periódicamente radica principalmente en el cambio de las dinámicas climáticas, cambio en los usos del suelo como la expansión del terreno urbano, la ganadería extensiva, la minería incontrolada, las cuales modifican también, la demanda y la oferta hídrica. Se debe agregar que los datos entregados por las estaciones hidrometeorológicas tienen períodos muertos de información principalmente por irregularidades en los equipos de medición y deficiente calidad de los observadores, que disminuyen la relevancia en los estudios hidrológicos (Penagos, 2014), eso sin contar, con la falta de estaciones en puntos estratégicos del territorio.

Por tal razón, la realización del estudio es de vital importancia para tener una concepción real del comportamiento del recurso hídrico y así fomentar un mejoramiento en la planificación y formulación y actualización de POMCAs, los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) y Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Sumado a lo anterior, los resultados obtenidos de la ERA permiten a las Corporaciones Autónomas Regionales conocer ambientalmente el estado actual de las cuencas hidrográficas para que sus inversiones económicas sean efectivas, oportunas y seguras. Lo anterior permitirá realizar obras de ingeniería enfocadas en la optimización de acueductos, alcantarillados, distritos de riego, entre otros, que sean oportunidades de mejora para la prevención de inundaciones y sequías, que a futuro, serían un ahorro económico por evitar costos relacionados a riesgo hidrológico y sobre todo una disminución de la vulnerabilidad hacia la sociedad por eventos adversos causados por la mala administración del recurso hídrico.

Además, una apropiada gestión integral del recurso hídrico, supondría para la Corporación Autónoma Regional una especial aceptación y mejora en la percepción que tendría la institución por parte de la población, particularmente, por mejorar la calidad de vida de las comunidades y obviamente por cumplir con el quehacer que tiene cada Corporación en su jurisdicción.

7. Objetivos general y específicos

7.1 Objetivo general

Actualizar el componente de oferta hídrica de la Evaluación Regional del Agua (ERA) en la cuenca Media y Baja del Río Bogotá.

7.2 Objetivos específicos

1. Realizar el balance hídrico de las subcuencas de tercer orden de la cuenca Media y Baja del río Bogotá.
2. Calcular los indicadores hidrológicos superficiales de oferta hídrica de la cuenca Media y Baja del río Bogotá.
3. Analizar el comportamiento de la cuenca Media y Baja del río Bogotá con respecto a los resultados obtenidos en la Evaluación Regional del Agua del 2014.

8. Marco de referencia

8.1 Marco teórico

Para el desarrollo del componente de oferta hídrica se debe tener en cuenta el balance hídrico, debido a que éste permite conocer cuantitativamente cual es el comportamiento actual del recurso y cómo se ve afectado por las actividades humanas. Además, es esencial para un uso y manejo adecuado del recurso hídrico, mejorando su control, redistribución y en general, las predicciones hidrológicas, permitiendo detectar deficiencias en la información dada por las estaciones hidrometeorológicas y así evitar errores en la toma de datos. Los componentes principales del balance hídrico son la precipitación, evapotranspiración (Potencial y Real), escorrentía y volumen de agua expresado en caudales (UNESCO, 1981).

Para evaluar la calidad del recurso se propone un sistema de indicadores que manejen de forma integral los cambios en la dinámica y el estado del agua. Estos indicadores permiten conocer las relaciones entre la oferta y la demanda del recurso hídrico, teniendo en cuenta factores antrópicos, sus amenazas y restricciones para el abastecimiento de la población. Para la Evaluación Regional del Agua (ERA), se definió un sistema de indicadores hídricos los cuales hacen referencia al régimen natural (Índice de Aridez (IA) e Índice de Regulación Hídrica (IRH)) y de intervención antrópica (Índice de Uso del Agua (IUA), Índice de Afectación Potencial a la Calidad del Agua (IACAL), Índice de Vulnerabilidad Hídrica al Desabastecimiento (IVDH) y el Índice de Calidad del Agua (ICA)) (Franco, García, & Vargas, 2010).

Con respecto a lo anterior, es necesario tener la información básica para la construcción del balance hídrico y determinación de los indicadores hidrológicos, para esto se toma la información obtenida de las estaciones hidrológicas y meteorológicas, a partir del monitoreo de variables hidrológicas para la caracterización de los sistemas hídricos, la estimación de la oferta hídrica superficial, generación de indicadores hídricos, evaluación del riesgo, entre otros (IDEAM, 2013).

8.2 Antecedentes

A partir de la expedición de la Constitución Política de Colombia, la cual estableció los derechos fundamentales, económicos, sociales y colectivos que debían ser defendidos para beneficio de la sociedad (Palacio, 2018), surgió una ley que abarcó en su totalidad los aspectos ambientales debido a su falta de especificidad en la presente constitución, la cual, fue radicada como la Ley 99 de 1993. Esta ley conformó el Sistema Nacional Ambiental con el fin de recopilar información y datos por medio de un Sistema de Información Ambiental (SIAC) que pudiera aprovecharla para la formulación de planes, programas y proyectos (IDEAM, 2014).

A partir de lo anterior, se estableció la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) (2010-2022), el cual provee los lineamientos para el uso y manejo adecuado del recurso, asimismo, se dan las directrices para la prevención de la contaminación en relación con los aspectos sociales, económicos y ambientales (MINAMBIENTE, 2014). Dentro de esta política se tratan los temas de oferta, demanda, calidad y riesgos, que son abordados particularmente en el Estudio Nacional del agua (ENA), como una estrategia para conocer las dinámicas y el estado del recurso hídrico en Colombia, de manera que sirva como fundamento para la formulación de planes y proyectos enfocados a la gestión integral del mismo (IDEAM, 2014).

Para el año 2012 se expide el Decreto 1640 por parte del MADS, orientado hacia la planificación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos del país en jurisdicción de las Corporaciones Autónomas Regionales y el Sistema de Parques Nacionales; específicamente, en el artículo octavo, sobre las competencias de las autoridades ambientales, en cuanto al desarrollo de las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA) como parte esencial para la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y para lo cual, deberá elaborarse cada 3 años (Alcaldía de Bogotá, 2012).

La ERA indaga sobre el comportamiento actual del recurso hídrico de manera específica y permite usar diferentes tipos de indicadores hidrológicos para evaluar su dinámica y determinar las mejores estrategias para su uso y manejo adecuado (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2013). Como resultado de lo anterior, se espera que este documento, aporte información actualizada que sirva de apoyo para la toma de decisiones en cuanto a concesiones de aguas, licencias ambientales, en la elaboración de POMCAs, PORH y Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y en general, en la administración ambiental del agua y reducción de riesgos hídricos, además de fortalecer las bases de datos necesarias para actualizar a su vez el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH).

8.3 Estado del arte

De acuerdo con la revisión bibliográfica para el desarrollo del proyecto, se tuvieron en cuenta una serie de estudios y trabajos realizados acerca de la caracterización de recursos hídricos,

que permitieron tener una aproximación de lo que se encuentra a lo largo del proyecto y las medidas que se tomaron considerando los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

En primer lugar, es vital recalcar la importancia que tiene la Evaluación Regional del Agua (ERA) de la cuenca Media y Baja del Río Bogotá del año 2014 en el desarrollo del proyecto, especialmente por ser una guía para la realización del mismo, además de tener los valores de referencia que permitirán evaluar la calidad y el estado del recurso, desde que fue analizado hasta el año presente.

Al analizar y buscar investigaciones acerca de oferta hídrica, se encontró que el análisis de ésta permite tener conocimiento sobre la conducta que tienen los cuerpos hídricos; una muestra de lo anterior, se evidencia en el estudio ***ANÁLISIS DE LA OFERTA HÍDRICA DE LAS VEREDAS EL CHUSCAL Y LA MANCHA UBICADAS EN EL MUNICIPIO DE BALBOA, RISARALDA***, donde se realizó un examen detallado de las características de los cuerpos hídricos, los cuales, tienen la oferta disponible para suplir sus necesidades. Sin embargo, en épocas de sequía, corren el riesgo de tener desabastecimiento hídrico por falta de autoridades ambientales que regulen el uso de éstas. Además, es necesario señalar, que muchos de los cálculos de indicadores hidrológicos no se pudieron realizar por ausencia de información del recurso (Osorio & López, 2015), lo cual, disminuye la efectividad del estudio.

Además, el estudio de oferta hídrica superficial también permite realizar una ***IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES NUEVAS ÁREAS DE REGADÍO Y ÁREAS DE RIEGO COMPLEMENTARIO EN LAS CUENCAS DE LA ZONA NORDESTE DE ARGENTINA***, donde se pudo analizar la variabilidad anual y mensual de precipitación, en la cual se concluye que la zona debe ser analizada no por su totalidad, sino que debe gestionarse por subregiones para que la probabilidad de ocurrencia de eventos de precipitación sea alta. Además, se tiene que los afluentes medianos y chicos pueden ser usados como una oportunidad de aprovechamiento para la provisión de riego complementario, por la cantidad de escorrentía que estos presentan (FAO, 2013).

Para el desarrollo del componente de oferta hídrica se deben tener en cuenta los valores de precipitación y evapotranspiración para que de esta forma se pueda determinar el balance hídrico de cada una de las subcuencas de la cuenca Media y Baja del río Bogotá, por lo tanto, se toma como referencia el proyecto de ***DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA ANALIZADA MEDIANTE CONGLOMERACIÓN ESTADÍSTICA*** donde Colombia en términos generales presenta una distribución de la precipitación mensual de tipo unimodal, bimodal y con interacciones de las dos anteriores. Las distribuciones de tipo bimodal se presentan principalmente en zonas por donde pasa la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en dos épocas del año, generalmente esta distribución se presenta en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima y Cundinamarca (Jaramillo & Chaves, 2000).

En cuanto a la evapotranspiración, se tuvo en cuenta un estudio realizado en México donde se analiza el comportamiento de ***LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR) PARA LA CUENCA DEL RÍO LA ANTIGUA, VERACRUZ*** donde la ETR tuvo un incremento con respecto al escenario base consultado del río La Antigua, este incremento de la ETR puede estar asociado a un déficit en la humedad del suelo y una disminución de la precipitación, por lo que ante eventos de cambio climático se deberá suministrar mayores cantidades de agua para cultivos agrícolas (Pereyra, Cruz, & Agustín, 2011).

Al tener los valores de precipitación y evapotranspiración se puede estimar la escorrentía superficial, la cual además de hacer parte del balance hídrico, también nos permite tener una correcta valoración de la recarga de acuíferos por acción de la precipitación, esto se pudo evidenciar en el estudio llamado **ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL PARA EL CÁLCULO DE LA RECARGA A LOS ACUÍFEROS DEL MACIZO KÁRSTICO DE LOS PORTS DE BESEIT (TARRAGONA, ESPAÑA) COMBINANDO BALANCE DE AGUA EN EL SUELO Y ANÁLISIS DE HIDROGRAMAS DE CAUDALES** donde la escorrentía superficial media anual obtuvo un valor de 105 mm, el cual representa un 20-30% de recarga calculada por medio del balance hídrico del suelo y el balance de deposición atmosférica, lo cual, hace a la escorrentía superficial un factor fundamental a tener en cuenta en la recarga de acuíferos, debido a que la afecta significativamente por acción de la precipitación (Espinoza & Custodio, 2016).

Con lo anterior, se realiza el análisis del balance hídrico el cual tiene el fin de definir la función que cumplen diferentes variables (climáticas, hidrológicas, topográficas, entre otras) dentro del ciclo del agua de una cuenca hidrográfica. Un estudio realizado en la Universidad de Zaragoza, evalúa el papel de estas variables dentro del **BALANCE HÍDRICO E HIDROLÓGICO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO GALLEGO**, donde se establece una relación directa con el tipo de material del suelo y la escorrentía superficial, en la cual, los materiales arcillosos permitían un mayor predominio de este parámetro, sumado también, al aumento de la capacidad de retención de aguas. Esta retención de aguas permite que pueda suplirse la demanda hídrica de algunos meses como lo son abril y julio (Marin, 1993).

Después de establecer el balance hídrico, se procede a determinar los indicadores hidrológicos superficiales como lo son el Índice de Uso del Agua y el Índice de Aridez, los cuales se trabajaron en los estudios mencionados a continuación: **ANÁLISIS DE LA SEQUÍA Y DESERTIFICACIÓN MEDIANTE ÍNDICES DE ARIDEZ Y ESTIMACIÓN DE LA BRECHA HÍDRICA EN BAJA CALIFORNIA SUR, NOROESTE DE MÉXICO**, donde los valores numéricos de este índice se encuentran relacionados con la fluctuación de la precipitación, la cual se evalúa en la serie de datos históricos pluviométricos. Estos cambios significativos en zonas áridas suponen una disminución en la disponibilidad y calidad de los recursos de agua y suelo (Troyo, y otros, 2014). Y el estudio **ÍNDICES DE ESCASEZ Y DE CALIDAD DEL AGUA PARA LA PRIORIZACIÓN DE CUERPOS DE AGUA** el cual fue elaborado en Medellín, establece que el índice de uso del agua es un indicador que me permite conocer el comportamiento de la oferta hídrica superficial y la demanda, por lo que se propone definir políticas para la planificación y manejo adecuado del recurso hídrico, de tal forma que se promueva el abastecimiento de toda la población y los sectores industriales, sin necesidad de comprometer la oferta hídrica (Jaramillo, Molina, & Betancur, 2011).

8.4 Marco geográfico

8.4.1 Cuenca del Río Bogotá.

La cuenca del Río Bogotá nace en el municipio de Villapinzón a los 3300 msnm y desemboca en el Río Magdalena a los 290 msnm. Esta se encuentra ubicada en la parte central del país, dentro del Departamento de Cundinamarca, conformada por 45 municipios y la ciudad de Bogotá, como se puede observar en la Figura 1 (CAR, 2006).

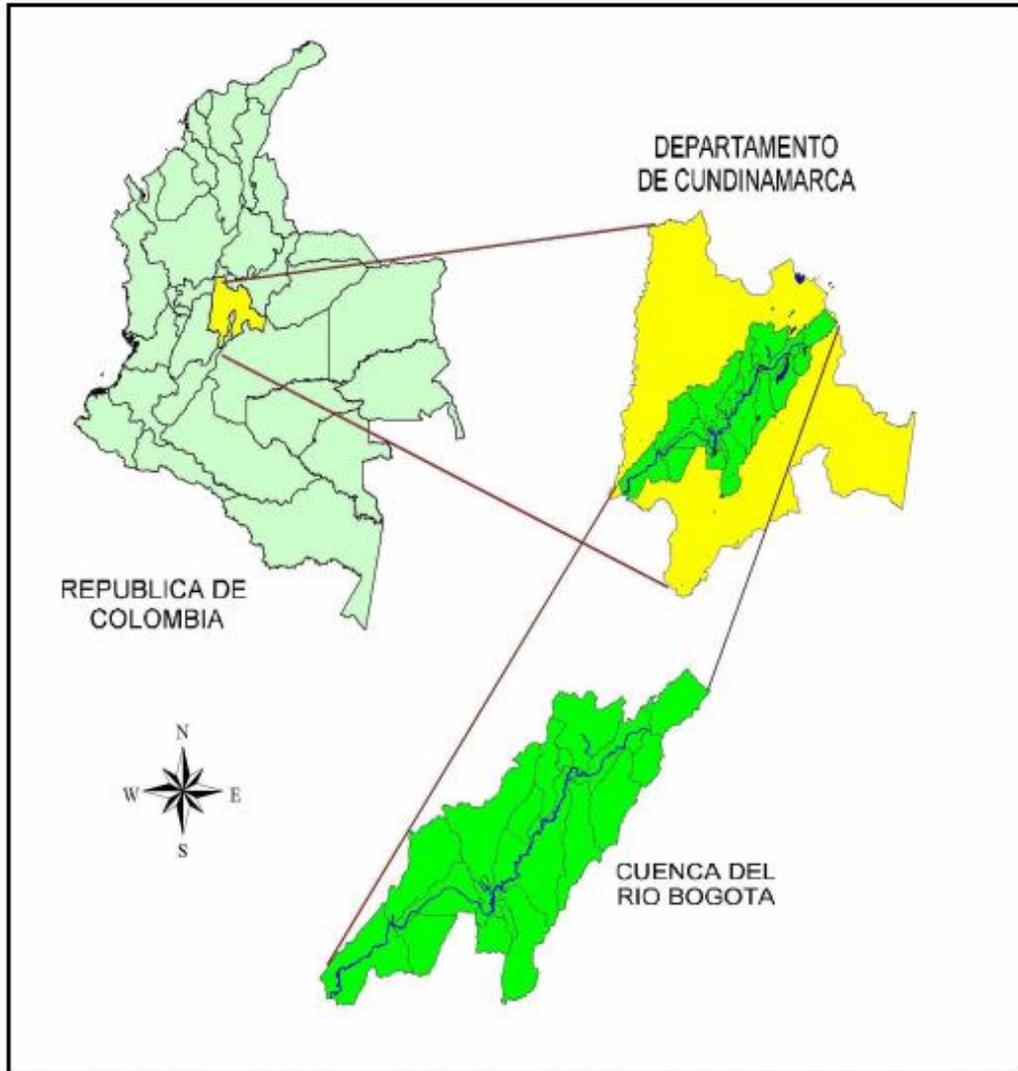


Figura 1. Localización geográfica de la Cuenca del Río Bogotá

Fuente: (CAR, 2006)

La cuenca se encuentra clasificada como de segundo orden, con un área total de 589.143 hectáreas, las cuales se encuentran distribuidas entre 19 subcuencas (Tabla 1) y cuenta con un área de drenaje de 5886 km² (CAR, 2006).

Tabla 1. Subcuencas de tercer orden del Río Bogotá

Código	Subcuenca	Área (Km²)
212001	Río Bajo Bogotá	540.32
212002	Río Apulo	485.66
212003	Río Calandaima	268.46
212004	Río Medio Bogotá	318.19
212005	Río Bogotá (Sector Salto-Soacha)	127.67
212006	Embalse del Muña	133.95

Código	Subcuenca	Área (Km ²)
212007	Río Soacha	39.42
212008	Río Balsillas	633.34
212009	Río Tunjuelo	392.11
212010	Cerros Orientales	700.83
212011	Río Chicú	146.02
212012	Río Frío	202.47
212013	Río Teusacá	356.18
212014	Río Negro	32.33
212015	Río Neusa	433.6
212016	Río Bogotá (Sector Sisga-Tibitoc)	277.44
212017	Embalse de Tominé	366.39
212018	Embalse Sisga	152.67
212019	Río Alto Bogotá	278.73

Fuente: (IDEAM, 2013)

La cuenca del Río Bogotá está dividida en tres zonas a lo largo de su trayectoria: Cuenca Alta, Cuenca Media y Cuenca Baja (Tabla 2).

Tabla 2. División Cuenca del Río Bogotá

Zona	Comprende
Cuenca Alta	Desde el nacimiento del Río Bogotá, hasta el puente de la Virgen.
Cuenca Media	Desde el puente de la Virgen (Cota), hasta antes del Embalse del Muña.
Cuenca Baja	Desde el Embalse del Muña hasta la desembocadura en el Río Magdalena en Girardot.

Fuente: (Secretaría de Hacienda, 2018)

8.4.2 Cuenca Media del Río Bogotá.

La cuenca media del Río Bogotá tiene una longitud aproximada de 90 Km, los cuales comprenden las aguas residuales del Distrito Capital y sus alrededores. La cuenca se encuentra dividida en 7 subcuencas objeto de estudio para el desarrollo de la Evaluación Regional del Agua (Tabla 3).

Tabla 3. Subcuencas Cuenca Media del Río Bogotá

Código	Subcuenca	Área (Km ²)
212006	Embalse del Muña	133,95
212007	Río Soacha	39,42
212008	Río Balsillas	633,34

Código	Subcuenca	Área (Km ²)
212009	Río Tunjuelo	392,11
212010	Cerros Orientales	700,83
212011	Río Chicú	146,02
212012	Río Frío	202,47
212013	Río Teusacá	356,18
212014	Río Negro	32,33

Fuente: (Robayo Gutiérrez & Niño Parra, 2017)

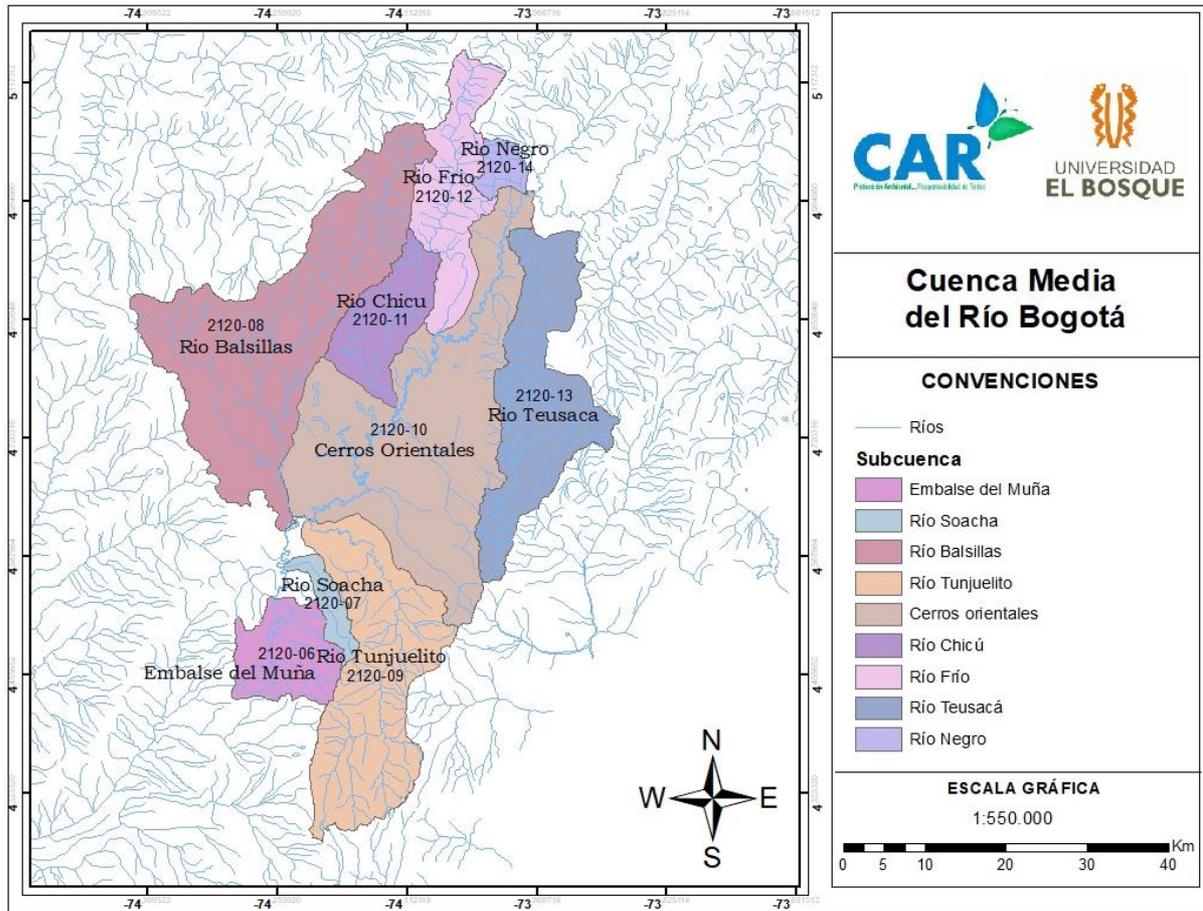


Figura 2. Localización geográfica de la Cuenca Media del Río Bogotá

Fuente: (Camelo,2018)

8.4.3 Cuenca Baja del Río Bogotá.

La Cuenca Baja del Río Bogotá tiene una longitud aproximada de 90 Km, los cuales comprenden las descargas de la hidroeléctrica Paraíso-Guaca, que había embalsado las aguas del Embalse del Muña (Secretaría de Hacienda, 2018). La cuenca se encuentra dividida en 5 subcuencas objeto de estudio para el desarrollo de la Evaluación Regional del Agua (Tabla 4).

Tabla 4. Subcuencas de la Cuenca Baja del Río Bogotá

Código	Subcuenca	Área (Km ²)
212001	Río Bajo Bogotá	540.32
212002	Río Apulo	485.66
212003	Río Calandaima	268.46
212004	Río Medio Bogotá	318.19
212005	Río Bogotá (Sector Salto-Soacha)	127.67

Fuente: (Robayo, 2017)

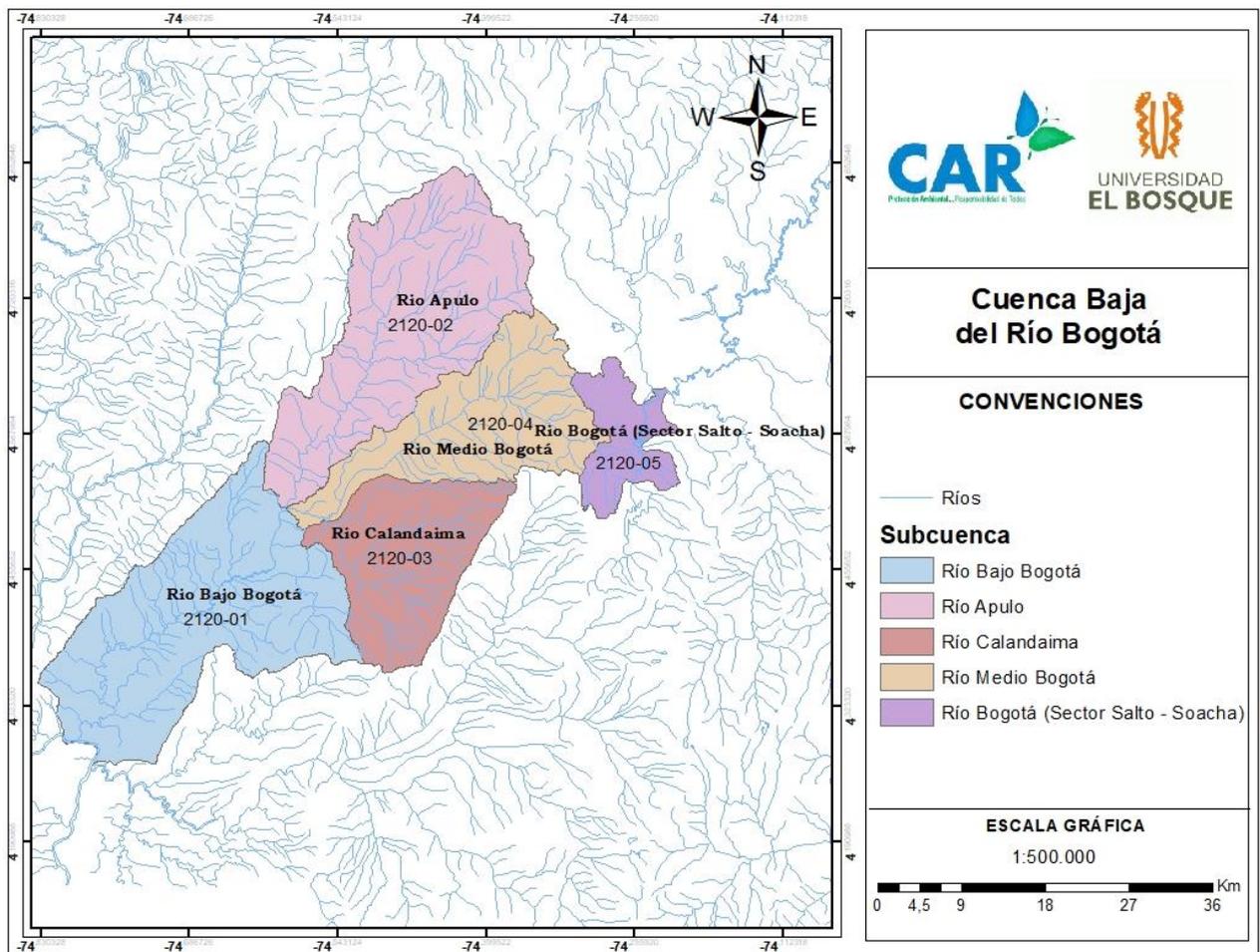


Figura 3. Localización geográfica de la Cuenca Baja del Río Bogotá

Fuente: (Camelo, 2018)

8.5 Marco legal

La Evaluación Regional del Agua (ERA), se encuentra soportada por diferentes normas vigentes correspondientes a decretos, resoluciones y leyes (Tabla 5), que permiten darle una mayor representatividad a la hora de desarrollar este documento.

Tabla 5. Marco legal para la Evaluación Regional del Agua (ERA)

NORMA	ENTIDAD QUE EXPIDE	CONTENIDO
Decreto 2811 de 1974	Ministerio de Ambiente, Viviendo y Desarrollo Territorial.	Código nacional de los recursos naturales renovables y protección al medio ambiente.
Ley 99 de 1993	Congreso nacional de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente.
Decreto 1729 de 2002	Ministerio de Medio Ambiente	Por el cual se reglamenta la Parte XIII Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas.
Resolución 0866 de 2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por la cual se adopta el formulario de información relacionada con el cobro de las tasas de utilización de aguas y el estado de los recursos hídricos.
Resolución 0865 de 2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales.
Decreto 1323 de 2007	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico- SIRH.
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico – 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo del recurso hídrico del país.
Decreto 1640 de 2012	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por el cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.
Ley 1753 de 2015	Congreso de la República	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, con énfasis ambiental en crecimiento económico sostenible,

NORMA	ENTIDAD QUE EXPIDE	CONTENIDO
		prevención de la deforestación, protección de humedales y delimitación de páramos.
Decreto 1076 de 2015	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Decreto 0585 de 2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Por el cual se adiciona al Libro 2, Parte 2, Título 8, del decreto 1076 de 2015, un Capítulo 3ª relacionado con el Consejo Nacional del agua.

Fuente: (Camelo,2018)

8.6 Marco institucional

La CAR tiene como objetivo el desarrollo de políticas, planes, programas y proyectos enfocados en la administración, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables que se encuentren dentro de su jurisdicción. Para que estas funciones sean cumplidas, la CAR posee un grupo de trabajo que se encuentra subdivido en diferentes Direcciones técnicas y administrativas, con el fin de que cada uno de éstas se enfoque en un área específica para así dar ejecución a los propósitos y funciones de la institución. Como se puede observar en la Figura 4, dentro de la CAR se encuentran ocho Direcciones orientadas a la evaluación, seguimiento y control ambiental, a la Gestión del Ordenamiento Ambiental Territorial, a la infraestructura ambiental y en específico a la administración de los recursos naturales, como Autoridad Ambiental, siendo esta última, la dirección en la cual se adelantó la práctica profesional.

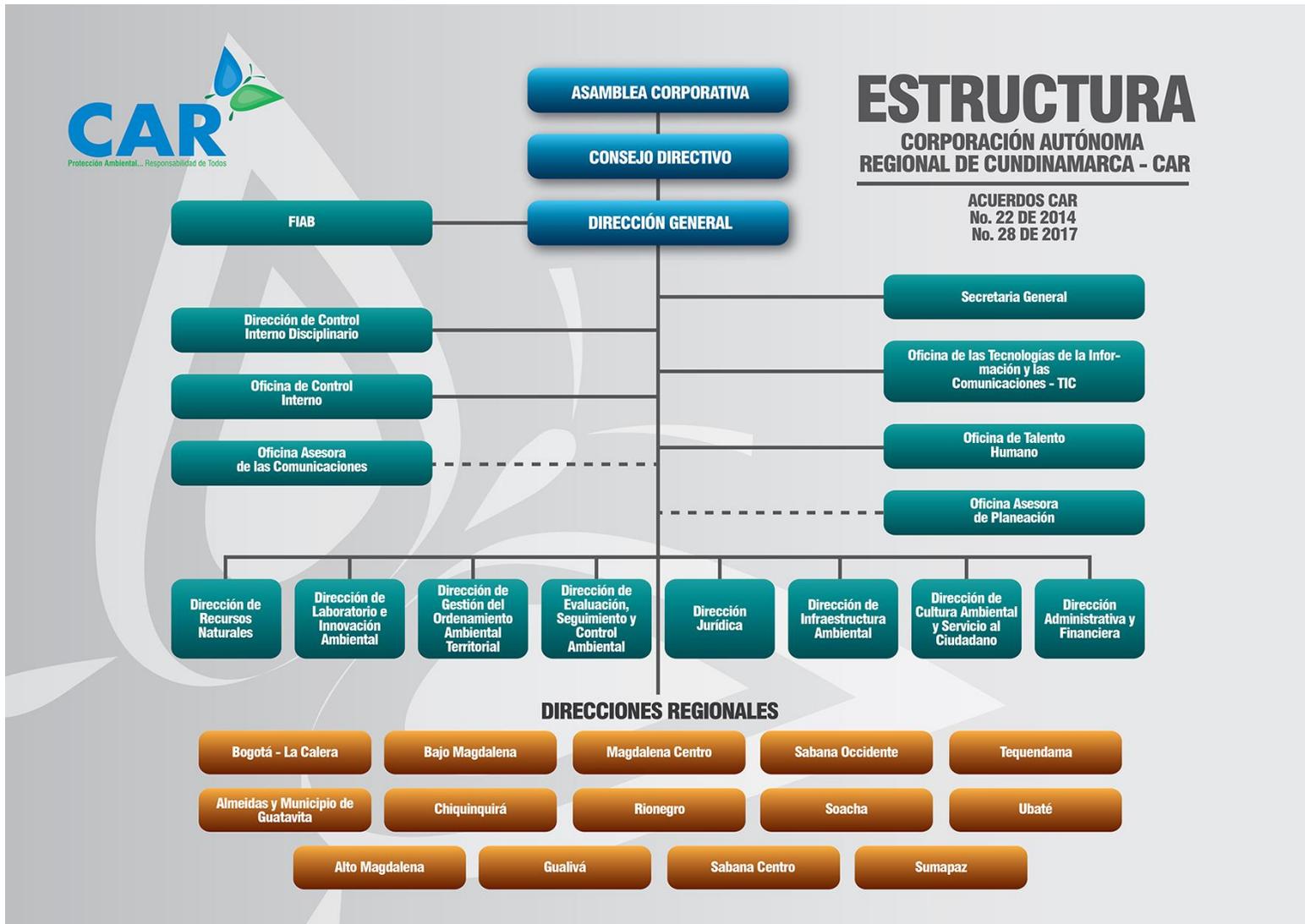


Figura 4. Estructura organizacional de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR

Fuente: (CAR, 2018)

8.7 Marco Conceptual

8.7.1 Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) – 2010.

La Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) propone los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción que permitan el manejo del recurso hídrico de Colombia. Ésta surge como una iniciativa del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- MAVDT, para tener el conocimiento actual del recurso hídrico y de la misma forma, promover a disminuir la problemática del mismo (MAVDT, 2010).

8.7.2 Estudio Nacional del Agua (ENA) 2010 y 2014.

El Estudio Nacional del Agua (ENA) es un insumo para la planificación y gestión integrada del recurso hídrico y su desarrollo se encuentra liderado por la Subdirección de Hidrología del IDEAM. El ENA integra y analiza la información y conocimiento que se tiene acerca de la hidrología y la hidrogeología nacional, además evalúa la situación actual y posibles escenarios futuros del recurso hídrico en Colombia (IDEAM, 2014).

8.7.3 Evaluación Regional del Agua (ERA).

La Evaluación Regional del Agua, se estableció con el Decreto 1640 del 2012 (MADS) y se encuentra orientada a generar información actualizada para fomentar la planificación, gestión y aplicación de diferentes instrumentos para la Gestión Integral del recurso hídrico. El estudio comprende el componente de oferta, demanda, calidad y riesgo, que son apoyo básico para la gestión de las Autoridades Ambientales (CAR, 2013).

La ERA se encuentra soportada por la información actual de las tendencias del recurso hídrico, la cual se enmarca con un sistema de indicadores hídricos regionales, que permiten tener un conocimiento actualizado del estado actual del agua en diferentes cuencas y subcuencas de la jurisdicción (CAR, 2013).

8.7.4 Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA.

Para realizar una adecuada Evaluación Regional del Agua se tienen en cuenta tres aspectos que conforman la metodología básica para la realización de las mismas, y que a futuro permite tener las bases para una planificación, gestión y toma de decisiones adecuada sobre el recurso hídrico (IDEAM, 2013). Éstos tres aspectos son:

1. Enfoque conceptual y metodológico: Componentes temáticos que dan cumplimiento a lo planteado en la PNGIRH.
2. Caracterización y análisis de cada componente: Oferta y demanda hídrica, calidad, amenaza y vulnerabilidad hídrica.

3. Análisis del estado del agua a partir de los indicadores hídricos.

8.7.5 Características morfométricas y fisiográficas de la cuenca.

8.7.5.1 Área de la cuenca (A).

El área de la cuenca se encuentra definida por el espacio que es delimitado por el perímetro de la cuenca (P). Éste puede calcularse a partir, de fotointerpretación o sobre un mapa topográfico en función de las curvas de nivel (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2011).

8.7.5.2 Perímetro de la cuenca (P).

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Se expresa en metros o en kilómetros (Lux, 2016).

8.7.5.3 Longitud del Río Principal.

Corresponde a la longitud del cuerpo de agua y es expresado en Km (CAR,2013).

8.7.5.4 Factor de forma (F).

Expresa la relación entre el áreas (A) y la longitud de la cuenca (L) (Lemus, 2017).

Ecuación 1. Factor de forma (F)

$$F = \frac{A (Km^2)}{L^2 (Km^2)}$$

8.7.5.5 Densidad de drenaje.

Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área que las contiene y se expresa de la siguiente manera (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2011):

Ecuación 2. Densidad de drenaje

$$D_d = \frac{L (Km)}{A (Km^2)}$$

Donde:

L: Sumatoria de la longitud de las corrientes de la cuenca en Km.

A: Área de la cuenca en Km².

8.7.5.6 Índice de compacidad (Kc).

Compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo debe tener la misma área que de la cuenca de estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de la circunferencia y su resultado no debe ser inferior a 1, entre más cercano se encuentre a este valor, mayor será la concentración de agua (Lux, 2016).

Ecuación 3. Índice de compacidad (Kc)

$$Kc = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad.

P: Perímetro de la cuenca

A: Área de la cuenca

8.7.5.7 Pendiente media de la Cuenca (Lm).

Es un valor promedio, en la cual, se obtienen como resultado la serie de valores de pendientes pertenecientes al área de la cuenca estudiada (Alfonso, 2016) y se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 4. Pendiente media de la cuenca (Lm)

$$Lm = \frac{d \sum L_i}{A}$$

Donde:

Lm: Pendiente media de la cuenca

L_i: Longitud de las curvas de nivel que se encuentran en la cuenca (Km)

d: Valor de la equidistancia entre curvas de nivel (m)

A: Área de la cuenca (Km²)

8.7.5.8 Tiempo de concentración (Tc).

Es el tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo más alejado de la Cuenca hasta su desembocadura. Para el cálculo se tiene en cuenta la longitud del curso de agua más largo y la diferencia de alturas (Lux, 2016).

Ecuación 5. Tiempo de concentración (Tc)

$$Tc = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (minutos)

L³: Longitud del cauce principal al cubo.

ΔH: Diferencia de altura máxima y mínima de la cuenca

8.7.6 Conceptos hidrológicos y meteorológicos.

8.7.6.1 Precipitación.

Es el agua que cae sobre el suelo en estado líquido (lluvia) o en forma de nieve y/o granizo (Empresa de Acueducto de Bogotá, 2013).

8.7.6.2 Evapotranspiración.

Se conoce como la combinación de la evaporación del suelo y la transpiración de las hojas de las plantas (Sánchez, 2001).

8.7.6.3 Evapotranspiración real.

Es la evaporación que se produce en las condiciones normales de la zona (Sánchez, 2001).

Ecuación 6. Evapotranspiración real

$$ETR = \left[\left(ETP * P * \operatorname{Tanh} \left(\frac{P}{ETP} \right) \left(1 - \operatorname{Cosh} \left(\frac{ETP}{P} \right) + \operatorname{Senh} \left(\frac{ETP}{P} \right) \right) \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

ETP: Evapotranspiración Potencial (mm)

P: Precipitación (mm)

8.7.6.4 Evapotranspiración potencial.

Es la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas (Sánchez, 2001).

8.7.6.5 Escorrentía superficial.

Es la lámina de agua que no se infiltra ni se evapora, si no que fluye a través de la superficie del suelo y llega a los cauces y cuerpos de agua. Se expresa en milímetros de lámina diaria, mensual o anual (Alfonso, 2016).

Ecuación 7. Escorrentía superficial

$$ESC = P - ETR$$

Donde:

ESC: Escorrentía hídrica superficial (mm)

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm)

8.7.6.6 Años hidrológicos.

Los años hidrológicos se encuentran divididos en año hidrológico húmedo, medio y seco.

8.7.6.6.1 *Año hidrológico medio*: está definido por los caudales medios mensuales multianuales de la serie histórica de los caudales medios (IDEAM, 2014).

8.7.6.6.2 *Año hidrológico húmedo*: Está definido por los caudales máximos de los medios mensuales multianuales de la serie histórica de los caudales medios mensuales (IDEAM, 2014).

8.7.6.6.3 *Año hidrológico seco*: Son los caudales mínimos mensuales de las series de caudales medios (IDEAM, 2014).

8.7.6.7 Caudal ambiental.

Se define como el volumen de agua necesario para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de actividades socioeconómicas (IDEAM, 2013).

8.7.6.8 Caudal de retorno.

Es el porcentaje del caudal extraído por los diferentes sectores y que es devuelto a los cuerpos de agua en un período de tiempo (IDEAM, 2013).

8.7.6.9 Infiltración.

Es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. La cual, satisface la deficiencia de humedad en el suelo y posteriormente llega a formar parte de del agua subterránea (Lasso, 2017).

8.7.6.10 Balance hídrico.

Permite caracterizar las condiciones en las que se encuentra el recurso hídrico, de acuerdo a su almacenamiento, flujos y balances hídricos, donde se determina el régimen hidrológico y los flujos de entradas y salidas (Robayo Gutiérrez & Niño Parra, 2017).

Ecuación 8. Balance hídrico

$$P - Esc_{total} - ETR(+/-)\Delta S(+/-)\Delta er = 0$$

Donde:

P: Precipitación (mm)

Esc: Escorrentía total (mm) (flujo superficial + flujo subterráneo)

ETR: Evapotranspiración real (mm)

ΔS : Almacenamiento

Δer : Término residual de discrepancia

Cuando se encuentran unidades hidrográficas reguladas o muy intervenidas por parte de sectores usuarios, se tiene que hacer uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Balance hídrico cuencas reguladas

$$P - ETR(+/-) - Ex + Rt(+/-)Tr(+/-)\Delta S(+/-)\Delta er = Esc_{medida}$$

Donde:

P: Precipitación (mm)

Ex: Sumatoria de volumen extraído expresado en mm (demanda)

Tr: Sumatoria de volumen de transvase (mm) hacia (+) o desde la cuenca (-)

ΔS : Cambio de almacenamiento (mm)

Rt: Sumatoria de volumen de agua que retorna a la cuenca asociada a diferentes actividades en el período considerado (mm)

Esc_{medida} : Escorrentía promedio a partir del caudal medido en la estación hidrométrica

Δer : Término residual de discrepancia

8.7.7 Indicadores hidrológicos.

8.7.7.1 Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).

Mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series acumuladas de caudales diarios. Éste índice varía de 0 a 1, siendo los valores más bajos con menor regulación (IDEAM, 2013). Para calcularlo se realiza mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

$$IRH = \frac{Vp}{Vt}$$

Donde:

IRH: Índice de Retención y Regulación Hídrica

Vp : volumen representado por el área que se encuentra debajo de la línea de caudal medio de la curva de duración de caudales diarios.

Vt : Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

Tabla 6. Categorías del Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

Rango de valores IRH	Categoría	Características
> 0,85	Muy alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy alta
0,75-0,85	Alto	Capacidad de la cuenca para retener y regular alta
0,65-0,75	Medio	Capacidad de la cuenca para retener y regular media
0,50-0,65	Bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular baja
< 0,50	Muy Bajo	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy baja

Fuente: (IDEAM, 2013)

8.7.7.2 Índice de Aridez (IA).

Permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica las áreas deficitarias o con excedentes de agua, a partir del balance hídrico superficial (IDEAM, 2013).

Ecuación 11. Índice de Aridez (IA)

$$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Donde:

IA: Índice de Aridez

ETP: Evapotranspiración potencial (mm)

ETR. Evapotranspiración real (mm)

Tabla 7. Categorías para el Índice de Aridez (IA)

Rango de valores Índice de Aridez	Categoría	Características
< 0,15		Altos excedentes de agua
0,15-0,19		Excedentes de agua
0,20-0,29		Entre moderado y excedentes de agua
0,30-0,39		Moderado
0,40-0,49		Entre moderado y deficitario de agua
0,50-0,59		Deficitario de agua
> 0,60		Altamente deficitario de agua

Fuente: (IDEAM, 2013)

8.7.7.3 Índice de Uso del Agua (IUA).

Se define como la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual), en relación con la oferta hídrica regional disponible (OHRD) neta para la misma unidad de tiempo. El IUA representa la presión por el uso sobre la oferta hídrica disponible superficial (IDEAM, 2013).

Ecuación 12. Índice de Uso del Agua

$$IUA = \left(\frac{Dh}{OHRD} \right) * 100$$

Donde:

IUA: índice de Uso del Agua

Dh: \sum (volumen de agua extraída para usos sectoriales en un período determinado)

OHRD: Oferta hídrica superficial regional disponible.

Ecuación 13. Demanda hídrica

$$Dh = Ch + Csp + Csm + Ccss + Cea + Ce + Ca + Ae$$

Donde:

Dh: Demanda hídrica.

Ch: Consumo humano o doméstico.
 Csp: Consumo del sector agrícola.
 Csm. Consumo del sector industrial.
 Css: Consumo del sector de servicios.
 Ce: Consumo del sector de energía.
 Ca: Consumo del sector acuícola.
 Aenc: agua extraída no consumida.

Ecuación 14. Oferta hídrica superficial regional disponible

$$OHRD = Oh \text{ total} - Q_{amb}$$

Donde:

Oh total: Volumen total de agua superficial en una unidad de análisis espacial y temporal determinada.

Q amb: Volumen de agua correspondiente al caudal ambiental en la misma unidad de análisis espacial y de tiempo de la oferta total.

Tabla 8. Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua (IUA)

Rango IUA	Categoría IUA	Significado
> 50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible.
20,01-50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible.
10,01-20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible.
1-10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible.
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible.

Fuente: (IDEAM, 2013)

8.7.7.4 Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVDH).

Se define como el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, ante amenazar que podrían generar riesgos de desabastecimiento. El IVDH se calcula a través de una matriz relacionando el índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA) (IDEAM, 2010) .

Tabla 9. Matriz de relación para categorizar el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVDH)

Categorías Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento (IVDH)		
Índice de uso de agua (IUA)	Índice de regulación hídrica (IRH)	Categoría de Vulnerabilidad
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy Bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy Bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy Bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy Bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy Bajo	Muy alto

Fuente: (IDEAM, 2010)

8.7.8 Oferta hídrica.

8.7.8.1 Oferta Hídrica Total Superficial – OHTS.

Es la cantidad de agua que no se infiltra o se evapora y que genera los sistemas de drenaje superficial (Robayo Gutiérrez & Niño Parra, 2017).

8.7.8.2 Oferta Hídrica Total Disponible – OHTD.

Es la cantidad de agua que permite el desarrollo de los ecosistemas, en otras palabras depende directamente del caudal ambiental y es resultado del promedio de la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) (Robayo Gutiérrez & Niño Parra, 2017).

8.7.8.3 Oferta Hídrica Regional Disponible – OHRD.

Es la cantidad de agua que se encuentra disponible para diferentes usos o servicios, en los cuales se incluye los caudales de trasvase y de retorno. Esta oferta es la que me permite calcular el Índice de Uso del Agua – IUA (Robayo Gutiérrez & Niño Parra, 2017).

8.7.8.4 Oferta Hídrica Total Aprovechable – OHTA.

Es el resultado de la diferencia del caudal promedio de la estación hidrométrica de referencia con el volumen de agua del caudal ambiental de la misma (Robayo Gutiérrez & Niño Parra, 2017).

9. Metodología

Para el planteamiento de la metodología del proyecto de investigación, se tuvo en cuenta el Estudio Nacional del Agua (ENA) y el documento de *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua (ERA)* 2013 como base para el desarrollo del componente de oferta hídrica.

9.1 Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos a partir de mediciones numéricas y análisis estadísticos, con el fin de probar teorías e hipótesis planteadas en el proyecto de investigación. Esta recolección de datos, se realiza a través de procedimientos estipulados y estandarizados por una comunidad científica, que le pueda dar credibilidad a los resultados obtenidos de la misma (Sampieri, 2014).

Con lo anterior, se determina que el proyecto tiene un enfoque cuantitativo, ya que, se tienen en cuenta los procedimientos plasmados por el Estudio Nacional del Agua (ENA) y el documento de *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua (ERA)*, para la estimación del balance hídrico y determinación de los indicadores hidrológicos, que son base fundamental para el conocimiento del comportamiento actual del recurso hídrico.

9.2 Alcance de la investigación

El alcance del proyecto de investigación es correlacional debido al gran número de variables que están relacionadas entre sí y son cuantificables (Sampieri, 2014), de tal forma que se pueda evaluar el comportamiento actual del recurso hídrico y se puedan explicar las causas que conllevan a tener un recurso como se encuentra actualmente.

9.3 Método de la investigación

El método establecido para este proyecto de investigación es el sintético, debido a que se analiza y sintetiza los datos recopilados del balance hídrico y de los indicadores hidrológicos, para estructurar análisis que conlleven a generar soluciones a los objetivos establecidos (Maya, 2014).

9.4 Cuadro metodológico

Tabla 10. Cuadro metodológico por objetivos

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados Esperados
Actualizar el componente de oferta hídrica de la Evaluación Regional del Agua (ERA) en la cuenca media y baja del Río Bogotá.	Realizar el balance hídrico de las subcuencas de tercer orden de la cuenca media y baja del río Bogotá.	Analizar estadísticamente las series históricas de la red de estaciones hidrometeorológicas de la cuenca media y baja del río Bogotá.	Determinación de estaciones de estudio de la CAR y el IDEAM que pertenezcan a la cuenca media y baja del río Bogotá.	Información existente de las estaciones hidrometeorológicas de la cuenca media y baja del río Bogotá.	Series de meteorología e hidrología actualizadas.
		Revisión de documentos de marco conceptual y metodológico para las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA).	Revisión de documentos	Libros y documentos de marco conceptual y metodológico para las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA).	Escorrentía superficial de la cuenca Media y Baja del Río Bogotá por subcuencas de tercer orden.
		Cálculo de variables hidrológicas: Precipitación (P), Evapotranspiración potencial (ETP) y Real (ETR) y escorrentía superficial.	Revisión de documentos que contengan modelos matemáticos para la elaboración de balances hídricos.	Modelos matemáticos para la elaboración de balances hídricos	

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados Esperados
	Calcular los indicadores hidrológicos de la oferta hídrica de la cuenca media y baja del río Bogotá.	Calcular los indicadores hidrológicos superficiales para la actualización de la Evaluación Regional del Agua (Índice de regulación hídrica, Índice de aridez, Índice de Uso del Agua e Índice de vulnerabilidad al Desabastecimiento).	Aplicación de los modelos propuestos en la Guía de las ERA del IDEAM.	Lineamientos definidos en la guía de las ERAs del IDEAM.	Valores actualizados de los indicadores hidrológicos superficiales de la cuenca Media y Baja del río Bogotá.
	Analizar el comportamiento de la cuenca media y baja del río Bogotá con respecto a los resultados obtenidos en la anterior Evaluación Regional del Agua.	Determinar cuáles han sido los cambios que ha tenido el recurso hídrico con respecto a la anterior Evaluación Regional del Agua 2014.	Análisis de la oferta hídrica y los problemas de disponibilidad de agua en la cuenca media y baja del río Bogotá	Documentos y publicaciones de la CAR.	Comparación y análisis de los resultados obtenidos con respecto a los de la anterior ERA.

Fuente: (Camelo,2018)

10. Resultados y Análisis

10.1 Cuenca Media del Río Bogotá

10.1.1 Características morfométricas y fisiográficas de la subcuencas de tercer orden de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Las características físicas de una cuenca permiten conocer el comportamiento de las mismas en cuanto a su superficie, relieve y drenajes, para que éstos valores puedan ser comparados con otras cuencas y así, establecer las mejores estrategias para su uso y manejo adecuado.

En la Tabla 13, se presentan los parámetros de mayor interés para la elaboración del balance hídrico y cálculo de indicadores hidrológicos para las subcuencas de tercer orden de la cuenca media del Río Bogotá.

Tabla 11. Características morfométricas y fisiográficas de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Código cuenca	2120-06	2120-07	2120-08	2120-11	2120-12	2120-13	2120-14
Cuenca	Embalse del Muña	Río Soacha	Río Balsillas	Río Chicú	Río Frío	Río Teusacá	Río Negro
Área (km ²)	133,91	40,30	633,35	142,24	201,05	358,24	34,97
Perímetro (km)	53,21	40,96	167,96	60,17	97,58	122,78	27,82
Longitud cuenca (km)	15,70	16,11	54,59	19,06	36,88	44,65	8,91
Longitud cauce principal (km)	12,32	17,09	60,91	24,58	33,60	75,99	10,81
Ancho de la cuenca (km)	14,78	3,45	24,52	8,85	10,82	15,54	7,56
Altura media cuenca (msnm)	2933,00	2876,00	2725,00	2626,00	2912,00	2854,00	2748,00
Pendiente media cuenca %	22,23	22,34	15,16	14,66	19,52	20,46	17,65
Drenaje total km	162,71	144,19	1164,92	297,61	544,71	942,28	91,35
Factor de forma	0,88	0,14	0,17	0,24	0,18	0,06	0,30
Índice de Gravelius o compacidad	1,29	1,81	1,87	1,41	1,93	1,82	1,32
Pendiente cauce	1,56	0,28	0,13	2,31	0,21	0,14	1,79

Código cuenca	2120-06	2120-07	2120-08	2120-11	2120-12	2120-13	2120-14
Cuenca	Embalse del Muña	Río Soacha	Río Balsillas	Río Chicú	Río Frío	Río Teusacá	Río Negro
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1,22	3,58	1,84	2,09	2,71	2,63	2,61
Sinuosidad	1,53	1,19	1,19	1,25	1,50	1,79	1,30
Tiempo de concentración (min)	17,82	45,12	157,08	25,39	83,49	179,61	15,31

Fuente: (SIG, ERA 2018)

De acuerdo con (Gaspari , y otros, 2012), la forma de la mayoría de las subcuencas es muy alargada (Forma de la cuenca menor a 1) disminuyendo la probabilidad de crecientes, sin embargo, la Subcuenca del Embalse del Muña presenta una forma ensanchada y circular (Por su cercanía a 1), lo cual, genera mayor susceptibilidad de producir crecidas, debido principalmente a que el tiempo de concentración es más corto que en las otras subcuencas, lo que ocasionaría una aceleración en la aglomeración de aguas superficiales (Delgadillo & Moreno, 2008). Asimismo, la densidad de drenaje de las subcuencas se considera moderada y alta, a excepción de la subcuenca del Río Soacha, que tienen una densidad de drenaje muy alta, esto quiere decir que la subcuenca presenta una buena calidad de drenajes, los cuales disminuyen la infiltración y percolación subterránea de aguas superficiales (Moreno & Esquivel, 2015).

Teniendo en cuenta los valores de pendiente media de la cuenca (%) y la clasificación del relieve dada por Moreno & Esquivel (2015), se puede afirmar que las subcuencas presentan un relieve accidentado (12-20 %) y fuertemente accidentado (20-35 %), que en pocas palabras puede tener una relación directa con la velocidad de la escorrentía superficial y al mismo tiempo la concentración de aguas en las cuencas, la cual, se puede traducir en futuras crecidas. Sumado a lo anterior, se puede decir que la elevación media del terreno podría tener un clima entre térmico o piso páramo, debido a que los valores se encuentran entre los 2750 msnm y 4700 msnm (Moreno & Esquivel, 2015).

Según Senciales (1995) el tipo de canal de las subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá, de acuerdo con los datos de sinuosidad son de tipo transicional (1,2-1,5) y rectilíneo (1-1,2), lo que quiere decir, que las subcuencas se encuentran ubicadas en áreas de montaña donde la longitud del valle y del cauce son similares, disminuyendo así, la generación de meandros. Sin embargo la subcuenca del Río Teusacá es de tipo irregular, este puede estar asociado a un sistema de fallas que modifican el cauce o a sustratos rocosos que impiden la profundización del mismo (Senciales, 1995).

10.1.2 Red de estaciones hidrometeorológicas.

Para la selección de estaciones de las cinco subcuencas de tercer orden, se tomó como referencia el mapa y catálogo de la red hidrometeorológica de la CAR y el IDEAM, con un total de 40 estaciones como se puede observar en la tabla 14.

Tabla 12. Estaciones hidrometeorológicas de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Código	Nombre	Fuente	Categoría	Latitud	Longitud	Altitud
2120044	PRADERA LA	CAR	PG	5,009167	-74,1361	2703
2120051	SIBATÉ APOSTÓLICA	CAR	PG	4,506056	-74,2436	2618
2120055	UNIÓN LA	CAR	PM	4,874611	-74,2513	2725
2120074	ZIPAQUIRÁ	CAR	PG	5,024250	-73,9991	2655
2120077	TORCA	CAR	PM	4,724083	-73,0528	2579
2120103	SANTA TERESA	CAR	PG	4,745694	-73,9311	3080
2120112	CASITA LA	CAR	PM	4,636306	-74,0707	3045
2120136	SANTA INÉS	CAR	PM	4,806528	-74,1415	2550
2120174	MANJUÍ	CAR	PM	4,802444	-74,3884	3260
2120214	PARAMO DE GUERRERO	CAR	PM	5,115083	-74,0450	3200
2120516	RAMADA LA	CAR	CP	4,703139	-74,1772	2545
2120557	PRIMAVERA LA	CAR	CP	4,857861	-74,2119	2590
2120559	APTO GUAIMARAL - USTA	CAR	CP	4,791000	-74,0535	2560
2120629	VENECIA	CAR	CP	4,844222	-74,3995	2673
2120630	DOÑA JUANA	CAR	CP	4,500833	-74,1706	2700
2120634	PARAÍSO PERDIDO	CAR	CO	4,497694	-74,2911	2700
21201060	PANTANO REDONDO 1	IDEAM	PG	5,043250	-74,033389	3160
21201070	CORAZÓN EL	IDEAM	PM	4,866667	-74,266667	2580
21201140	ESPERANZA LA	IDEAM	PM	4,802167	-74,179972	2555
21201230	ENMANUEL D ALZON	IDEAM	PM	4,701125	-74,070306	2520
21201240	STA MARIA DE USME	IDEAM	PM	4,481306	-74,126278	2800
21201300	AUSTRALIA	IDEAM	PM	4,394250	-74,132000	3050
21201310	PREVENTORIO INFANT	IDEAM	PM	4,465444	-74,267500	2650
21201580	PASQUILLA AUTOMÁTICA	IDEAM	PM	4,446500	-74,154833	3000
21201630	TABIO GJA	IDEAM	PG	4,933056	-74,065611	2600
21205420	TIBAITATÁ	IDEAM	AM	4,691416 67	-74,209	2543
21205580	VENADO ORO VIVERO	IDEAM	CO	4,598361	-74,061556	2725
21205720	SAN JORGE GJA	IDEAM	CO	4,50575	-74,1892778	2900
21205790	APTO EL DORADO	IDEAM	SP	4,705583	-74,150667	2547
21205890	GUANATA	IDEAM	ME	4,885944	-74,054333	2550
21205920	SUASUQUE	IDEAM	ME	4,820833	-73,963889	2650
21205940	VILLA INÉS	IDEAM	CO	4,834972	-74,383972	2590
21205960	TACHI	IDEAM	ME	4,939055 56	-74,1525833	2650
21205980	PROVIDENCIA GJA	IDEAM	CO	4,792389	-74,200917	2560
21206260	C.UNIV.AGROP-UDCA	IDEAM	CO	4,798639	-74,049722	2570
21206570	APTO CATAM	IDEAM	CP	4,705583	-74,150667	2546
21206600	NUEVA GENERACIÓN AUTOMÁTICA	IDEAM	CO	4,782222	-74,094333	2590
21206630	BILBAO MÁXIMO POTI	IDEAM	CO	4,751139	-74,091583	2600
21206660	COL SANTIAGO PEREZ	IDEAM	CO	4,576222	-74,130917	2565

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Figura 5, la cobertura por parte de las estaciones del IDEAM es alta en comparación con las estaciones de la CAR, sin embargo, las subcuencas del Río Teusacá, Río Negro y Río Soacha tienen una red insuficiente de estaciones hidrometeorológicas por lo que la información para poder determinar la oferta hídrica superficial de estas subcuencas es escasa y se tienen que optar por otros medios de obtención de información que no son tan acertados como los modelos hidrológicos. Sumado a lo anterior, la información de las estaciones del IDEAM no es obtenida para este estudio, por lo cual, las subcuencas del Río Tunjuelito y Cerros orientales no pueden ser trabajadas.

Es debido recalcar, que una de las subcuencas pertenecientes a la cuenca Media del Río Bogotá se encuentra compartida con la EAB, que desde 1996 opera el embalse de San Rafael y regula hidrológicamente el Río Teusacá (Niño, 2018). Por tal razón, la recopilación de información climatológica e hidrológica de la subcuenca del Río Teusacá es limitada, impidiendo su evaluación total para la oferta hídrica superficial, considerando que el embalse de San Rafael es operado por la EAB.

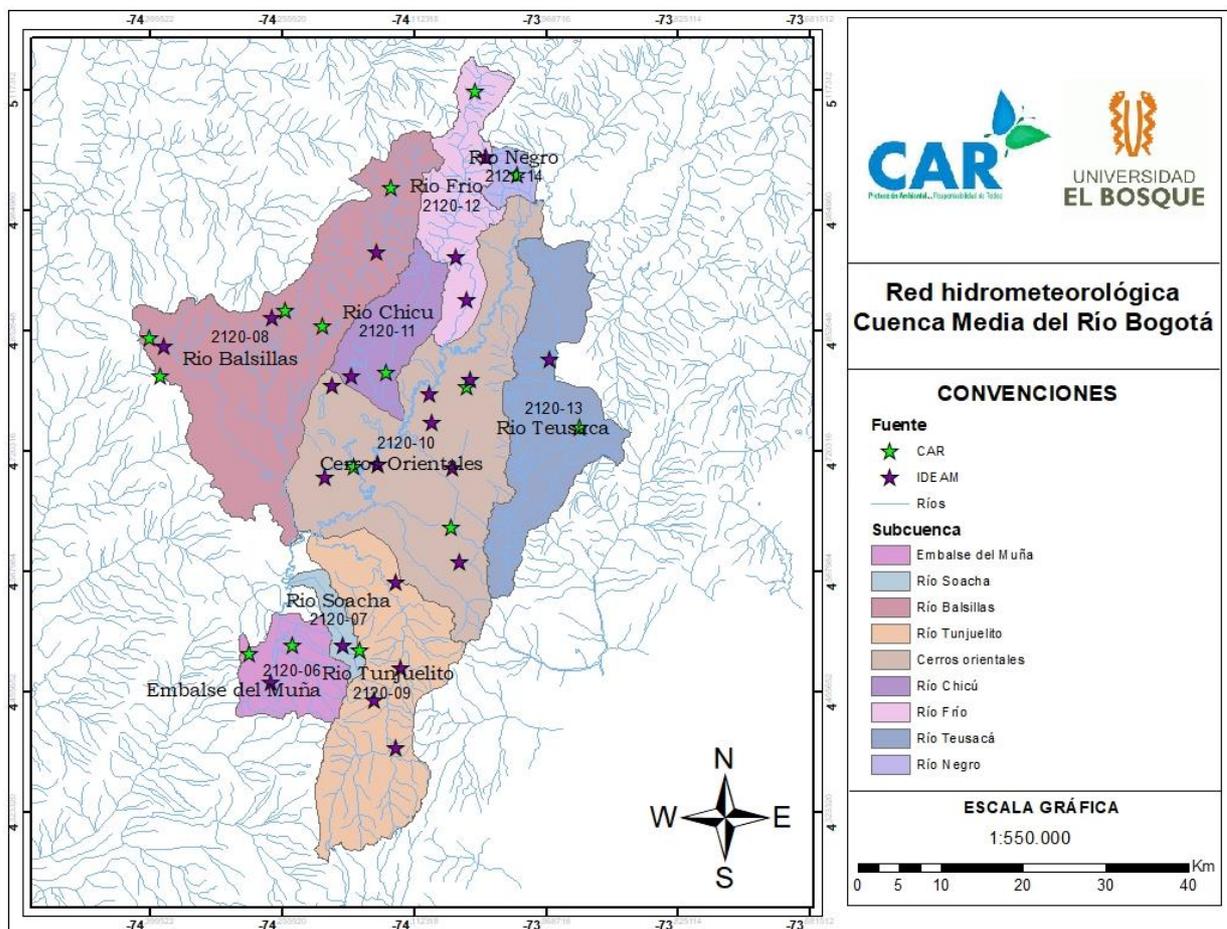


Figura 5. Red hidrometeorológica de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.3 Precipitación.

Para los valores de precipitación no se realizó complementación de las series debido a que la información ya se encontraba disponible y fue proporcionada por la Corporación Autónoma Regional, con lo anterior, se presenta la serie de precipitación mensual multianual en milímetros (mm) de la cuenca media del Río Bogotá (Tabla 15)

Tabla 13. Precipitación total mensual multianual (mm) de la cuenca Media del Río Bogotá.

COD	Nombre	Fuente	PRECIPITACIÓN (mm)												
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2120044	Pradera la	CAR	28,25	38,39	69,05	100,61	83,65	48,19	53,84	56,13	68,24	106,62	99,00	43,38	795,33
2120051	Sibaté apostólica	CAR	22,64	36,57	61,72	87,09	69,75	49,41	39,89	31,14	40,95	85,11	76,52	54,80	655,60
2120055	Unión la	CAR	41,20	56,77	96,70	139,12	119,70	72,04	58,88	54,97	70,01	146,33	111,35	75,11	1042,17
2120074	Zipaquirá	CAR	36,15	56,06	79,23	116,57	104,00	68,44	69,88	54,43	59,00	130,71	100,75	48,52	923,75
2120077	Torca	CAR	62,12	69,80	85,90	109,93	95,72	67,24	65,11	52,30	71,41	124,27	111,25	61,70	976,75
2120103	Santa teresa	CAR	32,48	48,29	76,83	102,45	112,59	111,41	96,10	81,86	65,19	98,32	94,29	52,57	972,37
2120112	Casita la	CAR	48,76	67,67	98,91	125,05	115,08	85,80	68,76	63,64	48,08	129,84	136,92	81,36	1069,86
2120136	Santa Inés	CAR	30,62	48,17	65,63	101,53	79,20	51,47	45,32	44,12	61,18	109,34	82,40	55,88	774,86
2120174	Manjuí	CAR	25,25	46,16	77,22	115,05	102,96	49,03	52,61	53,46	52,64	117,38	106,81	55,14	853,72
2120214	Páramo de guerrero	CAR	31,84	49,96	88,88	133,84	105,77	96,98	82,23	80,08	76,10	140,13	114,24	59,35	1059,39
2120516	Ramada la	CAR	25,50	50,49	71,08	102,52	93,44	56,69	43,99	40,34	52,32	97,49	81,01	56,41	771,28
2120557	Primavera la	CAR	37,78	44,21	83,65	113,07	90,71	61,93	57,98	50,10	62,92	105,37	71,52	46,34	825,59
2120559	Apto Guaymaral - USTA	CAR	40,57	61,43	78,99	98,58	82,34	62,03	50,48	48,21	61,49	106,14	109,34	56,63	856,23
2120629	Venecia	CAR	45,48	51,63	93,06	103,59	90,86	51,00	42,21	47,76	56,23	116,40	121,21	67,91	887,37
2120630	Doña Juana	CAR	22,07	36,19	57,96	84,14	84,81	66,40	58,46	40,39	36,92	78,13	78,17	44,23	687,88
2120634	Paraíso perdido	CAR	24,71	40,56	58,69	93,28	82,20	56,70	42,20	39,07	46,87	91,85	80,48	47,30	703,91
21201060	Pantano redondo 1	IDEAM	42,05	56,63	92,70	136,23	144,45	108,80	109,41	102,04	82,32	128,73	101,41	60,55	1165,32
21201070	El Corazón	IDEAM	53,82	59,93	106,41	108,15	99,12	65,95	46,88	52,60	51,71	111,79	123,55	59,90	939,80
21201140	La Esperanza	IDEAM	23,91	35,78	58,57	88,39	84,37	49,97	43,15	41,26	49,69	89,90	65,85	41,38	672,22
21201230	Emmanuel d' alzon	IDEAM	60,31	72,85	99,27	110,07	101,28	45,61	41,26	40,49	51,71	125,86	118,77	81,89	949,38
21201240	Santa María de Usme	IDEAM	10,10	24,95	37,21	77,75	66,64	63,03	53,29	40,02	33,09	55,40	51,55	30,67	543,72
21201300	Australia	IDEAM	23,92	42,36	66,78	112,92	161,22	154,62	151,38	115,19	87,75	108,55	94,40	45,51	1164,60
21201310	Preventorio infantil	IDEAM	25,49	36,73	53,07	81,50	86,61	52,88	46,78	36,39	46,55	87,09	71,35	46,34	670,76
21201580	Pasquilla automática	IDEAM	17,27	35,74	50,14	90,62	109,02	91,77	84,29	63,17	54,44	83,05	72,97	37,17	789,66

COD	Nombre	Fuente	PRECIPITACIÓN (mm)												
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
21201630	Tabio granja	IDEAM	41,07	52,71	70,13	102,48	94,23	57,26	60,53	56,73	65,17	103,92	94,85	66,03	865,09
21205420	Tibaitatá	IDEAM	22,27	41,89	62,13	91,18	86,48	63,62	44,05	36,14	41,82	84,93	77,33	48,26	700,10
21205580	Venado oro vivero	IDEAM	69,98	87,32	114,76	128,65	112,43	68,69	58,74	53,75	51,48	126,56	127,18	92,29	1091,81
21205720	San Jorge granja	IDEAM	24,42	43,61	65,34	91,40	82,66	70,16	65,98	45,17	46,05	90,67	80,29	48,05	753,80
21205790	Aeropuerto El Dorado	IDEAM	30,52	53,95	83,18	119,43	109,02	64,39	47,71	46,36	60,20	111,97	94,91	63,60	885,24
21205890	Guanatá	IDEAM	33,04	50,82	66,01	88,78	88,21	52,40	56,86	47,55	55,99	92,32	94,39	49,61	776,01
21205920	Suasunque	IDEAM	29,84	37,90	65,75	102,21	93,28	83,06	94,56	71,16	60,38	84,36	76,91	44,82	844,24
21205940	Villa Inés	IDEAM	34,15	47,02	77,08	100,59	83,73	50,51	43,74	41,82	47,90	93,73	97,92	55,74	773,93
21205960	Tachi	IDEAM	27,13	41,31	65,34	103,81	89,01	55,76	54,78	61,49	62,22	97,89	91,66	48,60	799,00
21205980	Providencia granja	IDEAM	27,58	45,54	83,67	103,77	104,18	71,47	57,60	49,96	59,18	104,23	76,10	54,26	837,54
21206260	Univ.agrop-UDCA	IDEAM	42,92	56,31	80,59	95,15	98,61	60,45	54,53	48,36	53,55	109,98	98,85	55,76	855,08
21206570	Aeropuerto CATAM	IDEAM	26,37	36,94	55,37	81,45	63,88	34,84	26,68	20,74	42,13	75,26	81,73	42,90	588,29
21206600	Nueva generación automática	IDEAM	32,90	46,19	55,74	75,58	63,11	39,13	37,68	32,97	35,31	69,57	75,75	42,84	606,78
21206630	Bilbao máximo poti	IDEAM	26,24	42,43	66,11	81,17	62,64	36,99	33,36	30,72	33,84	83,43	80,00	41,69	618,60
21206660	Colegio Santiago Pérez	IDEAM	15,19	21,34	41,88	56,34	38,65	39,09	35,52	34,24	29,88	63,21	45,20	40,58	461,11

Fuente: (Camelo,2018)

En la Tabla 16 se presenta la precipitación media mensual multianual de cada una de las subcuencas de la cuenca Media del Río Bogotá.

Tabla 14. Precipitación media (mm) de las siete subcuencas de la cuenca Media del Río Bogotá.

NOMBRE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Embalse del Muña	26,90	42,02	62,58	91,28	84,87	60,37	51,84	40,85	47,00	90,94	80,38	51,49	730,51
Rio Balsillas	40,82	54,47	86,39	114,92	97,53	58,34	50,39	50,33	59,91	115,79	104,48	62,40	895,77
Rio Chicú	31,96	46,34	69,28	98,41	86,69	54,70	50,40	47,20	56,95	100,22	83,74	51,56	777,44
Rio Frio	39,58	54,02	80,51	114,62	103,26	70,26	69,52	64,51	67,63	116,73	104,20	59,32	944,17
Rio Negro	76,79	96,39	146,25	177,08	145,79	87,50	73,36	70,39	95,30	179,88	167,07	107,38	1423,19

NOMBRE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Rio Soacha	23,46	39,90	60,21	87,80	80,02	62,43	55,45	41,51	43,50	85,53	75,71	47,60	703,11
Rio Teusacá	37,78	51,73	76,95	104,51	103,69	85,08	80,58	67,78	59,96	101,63	97,40	54,91	922,01

Fuente: (Camelo,2018)

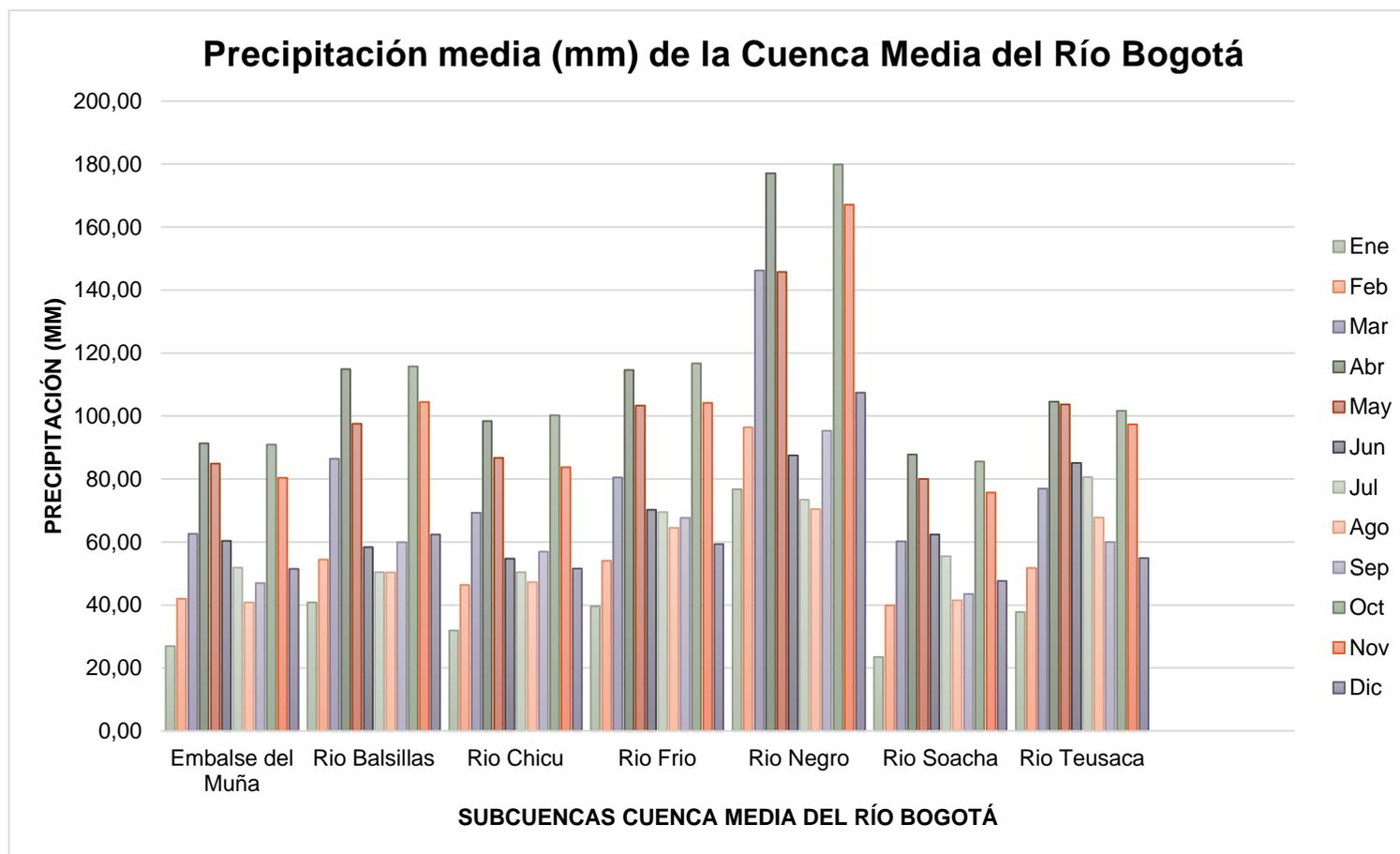


Figura 6. Precipitación media de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Figura 6, la subcuenca del Río Negro presenta los valores de precipitación media más altos de toda la Cuenca Media del Río Bogotá, con valores de 177,08 y 179,88 mm para el mes de abril y octubre respectivamente. En contraste con la subcuenca del Río Soacha, que presenta el valor más bajo de precipitación (23,46 mm) para el mes de enero, representado como la época seca de la cuenca.

10.1.4 Evapotranspiración potencial.

Para el cálculo de la ETP se tuvo en cuenta la metodología del Estudio Nacional del Agua 2010 y la regionalización mensual de la variable por medio de la relación ETP mensual y altura (m.s.n.m) de cada estación perteneciente a la cuenca media del Río Bogotá. A continuación, se presentan las ecuaciones obtenidas de cada regresión mensual para la generación de la ETP (Tabla 17).

Tabla 15. Ecuaciones para ETP mensual

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
ETP	$y = -0,0203x+127,92$	$y = -0,0193x+120,28$	$y = -0,0207x+130,91$	$y = -0,0185x+119,5$	$y = -0,0189x+120,63$	$y = 0,0199x+120,65$
MESES	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETP	$y = -0,0237x+134,75$	$y = -0,0256x+142,05$	$y = -0,023x+132,7$	$y = 0,0203x+123,74$	$y = -0,0177x+123,74$	$y = 0,0188x+119,19$

Fuente: (Robayo Gutiérrez & Niño Parra, 2017)

A continuación, se muestran los valores de la ETP obtenidos de las ecuaciones anteriores, para cada una de las estaciones (Tabla 18).

Tabla 16. ETP media mensual (mm) de las subcuencas de la Cuenca Media del Río Bogotá.

CÓDIGO	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-06	Embalse del Muña	68,39	63,68	70,20	65,25	65,20	62,29	65,25	66,97	65,25	64,21	64,21	64,06	784,95
2120-08	Rio Balsillas	72,60	67,68	74,50	69,08	69,12	66,42	70,16	72,29	70,02	68,42	68,42	67,96	836,68
2120-11	Rio Chicú	74,61	69,60	76,55	70,92	71,00	68,39	72,51	74,82	72,30	70,43	70,43	69,82	861,40
2120-12	Rio Frio	68,78	64,05	70,60	65,60	65,57	62,68	65,71	67,47	65,69	64,60	64,60	64,42	789,78
2120-14	Rio Negro	86,25	80,67	88,42	81,53	81,84	79,80	86,10	89,50	85,49	82,07	82,07	80,60	1004,35
2120-07	Rio Soacha	69,53	64,77	71,37	66,29	66,27	63,41	66,59	68,42	66,55	65,35	65,35	65,12	799,04
2120-13	Rio Teusacá	69,98	65,19	71,83	66,69	66,68	63,85	67,10	68,98	67,05	65,80	65,80	65,53	804,47

Fuente: (Camelo, 2018)

10.1.5 Evapotranspiración Real.

Para la determinación de la ETR se tuvo en cuenta el método Budyco, que es empleado en el ENA 2010, la cual, establece como variables la precipitación media mensual y la ETP media mensual de cada una de las subcuencas como se presenta en la Ecuación 15. A continuación, se muestran los resultados de la ETR de cada una de las subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá (Tabla 19).

Ecuación 15. Fórmula de Budyco

$$ETR = \left[\left(ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \right) \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right) \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

ETP: Evapotranspiración potencial (mm)

P: Precipitación (mm)

Tabla 17. ETR media mensual (mm) de las subcuencas de la cuenca Media del Río Bogotá.

CÓDIGO	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-06	Embalse del Muña	25,01	34,49	45,70	51,70	50,20	41,94	39,14	34,08	37,42	51,07	52,29	39,42	502,44
2120-08	Rio Balsillas	34,83	41,34	54,80	57,53	54,95	42,97	40,10	40,42	44,41	57,15	59,17	44,70	572,36
2120-11	Rio Chicú	29,43	38,14	50,43	56,19	53,70	42,04	40,79	39,44	44,01	56,27	55,49	40,90	546,81
2120-12	Rio Frio	33,88	40,38	51,26	54,86	53,51	44,59	45,82	44,61	45,60	54,44	57,52	42,53	568,98
2120-14	Rio Negro	54,72	59,44	72,34	70,84	68,53	56,30	53,71	53,03	60,06	71,72	74,59	61,54	756,84
2120-07	Rio Soacha	22,41	33,63	45,15	51,60	49,70	43,03	41,03	34,82	35,90	50,64	51,32	37,91	497,14
2120-13	Rio Teusacá	32,76	39,38	50,93	54,60	54,38	49,23	49,88	46,82	43,72	53,51	56,65	40,75	572,61

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con los resultados de Evapotranspiración potencial –ETP y Evapotranspiración Real en comparación con los encontrados en la ERA del 2014, la ETP y ETR ha disminuido, su razón principal es por el incremento en las precipitaciones mensuales de cada una de las subcuencas

(Figura 7), resultado de la variabilidad climática que se ha venido presentando actualmente en la región. Según Montealegre (2014), la probabilidad de que la precipitación aumente esta entre el 60 – 70% principalmente en la Región Andina, aumentando el riesgo de inundaciones y crecidas por parte de las subcuencas de la cuenca Media del Río Bogotá (Montealegre, 2014).

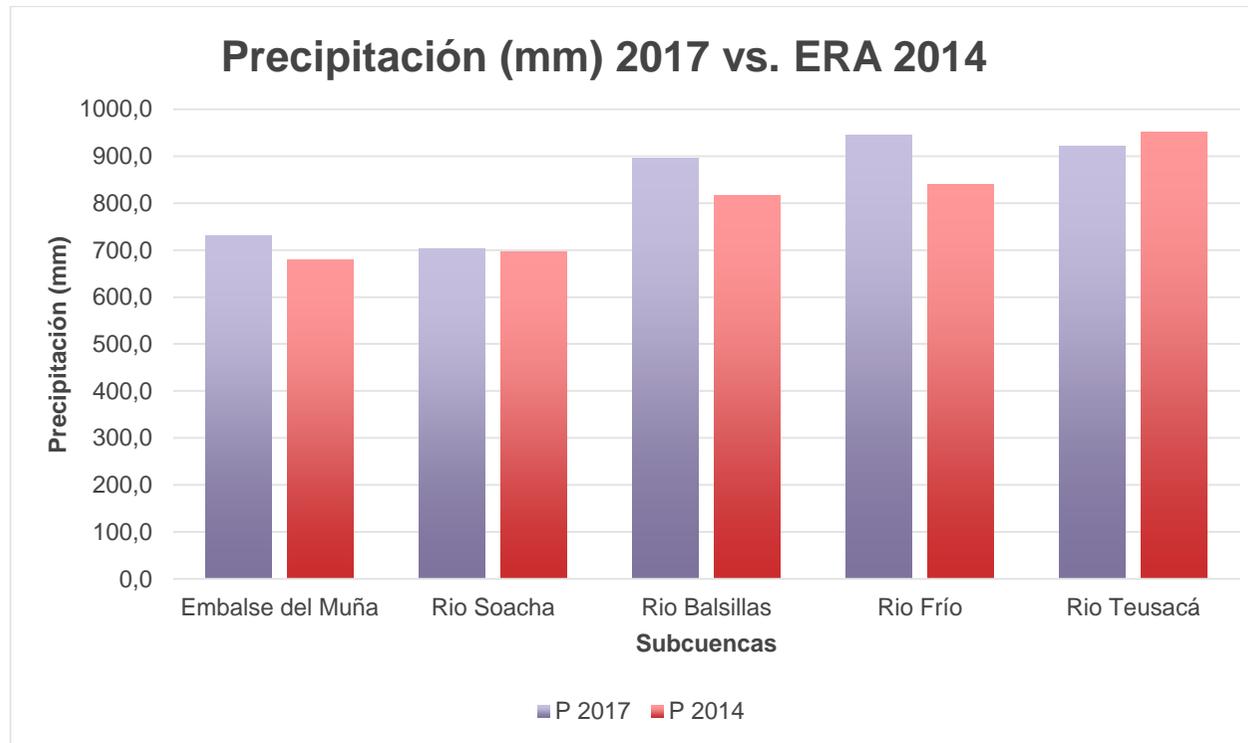


Figura 7. Precipitación media de la cuenca Media del Río Bogotá. 2017 vs. ERA 2014.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.6 Escorrentía superficial total.

A partir de los datos de evapotranspiración real de la cuenca y la precipitación media se calcula la escorrentía total de las subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá. Para determinar la escorrentía en cuencas con régimen hidrológico natural (sin alteración o intervención antrópica) se establece la siguiente fórmula:

Ecuación 16. Cálculo de escorrentía superficial

$$ESC_{mm} = P_{media} - ETR_{media}$$

Donde:

P: Precipitación media (mm)

ETR: Evapotranspiración real media (mm)

Como se puede observar en la Ecuación 16, la escorrentía da en milímetros (mm), para que éste valor sea obtenido en m³/s se debe relacionar el área de la subcuenca en m², como se presenta a continuación:

Ecuación 17. Escorrentía superficial en m³/s

$$ESC_{m^3/s} = \frac{ESC_m * A_{m^2}}{\text{segundos al mes}^*}$$

Donde:

ESC_m: Escorrentía superficial en metros

A_{m²}: Área en m²

*Los segundos dependen de los días que contenga el mes que esté trabajando, es decir, que si estoy calculando la escorrentía para el mes de enero debo multiplicar 31 días * 86.400 segundos al día.

Para ver en detalle los cálculos realizados de escorrentía superficial de cada una de las subcuencas, por favor remitirse al Anexo 1.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada Subcuenca.

Tabla 18. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Embalse del Muña

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	26,90	42,02	62,58	91,28	84,87	60,37	51,84	40,85	47,00	90,94	80,38	51,49
ETR (mm)	25,01	34,49	45,70	51,70	50,20	41,94	39,14	34,08	37,42	51,07	52,29	39,42
Escorrentía (mm)	1,89	7,53	16,88	39,58	34,67	18,43	12,69	6,77	9,58	39,87	28,09	12,07
Escorrentía (m³/s)	0,09	0,38	0,84	1,98	1,73	0,92	0,63	0,34	0,48	1,99	1,40	0,60

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 19. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Balsillas.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	40,82	54,47	86,39	114,92	97,53	58,34	50,39	50,33	59,91	115,79	104,48	62,40
ETR (mm)	34,83	41,34	54,80	57,53	54,95	42,97	40,10	40,42	44,41	57,15	59,17	44,70
Escorrentía (mm)	5,99	13,13	31,59	57,38	42,58	15,37	10,28	9,91	15,50	58,64	45,31	17,70
Escorrentía (m³/s)	1,42	3,11	7,47	13,57	10,07	3,64	2,43	2,34	3,67	13,87	10,71	4,19

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 20. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Chicú.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	31,96	46,34	69,28	98,41	86,69	54,70	50,40	47,20	56,95	100,22	83,74	51,56
ETR (mm)	29,43	38,14	50,43	56,19	53,70	42,04	40,79	39,44	44,01	56,27	55,49	40,90
Escorrentía (mm)	2,53	8,20	18,85	42,22	32,99	12,65	9,61	7,76	12,94	43,95	28,25	10,66
Escorrentía (m³/s)	0,13	0,44	1,00	2,24	1,75	0,67	0,51	0,41	0,69	2,33	1,50	0,57

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 21. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Negro.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	76,79	96,39	146,25	177,08	145,79	87,50	73,36	70,39	95,30	179,88	167,07	107,38
ETR (mm)	54,72	59,44	72,34	70,84	68,53	56,30	53,71	53,03	60,06	71,72	74,59	61,54
Escorrentía (mm)	22,08	36,95	73,91	106,24	77,26	31,20	19,65	17,36	35,24	108,16	92,47	45,84
Escorrentía (m³/s)	0,29	0,48	0,96	1,39	1,01	0,41	0,26	0,23	0,46	1,41	1,21	0,60

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 22. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Frío.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	39,58	54,02	80,51	114,62	103,26	70,26	69,52	64,51	67,63	116,73	104,20	59,32
ETR (mm)	33,88	40,38	51,26	54,86	53,51	44,59	45,82	44,61	45,60	54,44	57,52	42,53
Escorrentía (mm)	5,71	13,64	29,26	59,76	49,76	25,67	23,70	19,90	22,03	62,29	46,68	16,78
Escorrentía (m³/s)	0,43	1,02	2,20	4,49	3,74	1,93	1,78	1,49	1,65	4,68	3,50	1,26

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 23. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Soacha.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	23,46	39,90	60,21	87,80	80,02	62,43	55,45	41,51	43,50	85,53	75,71	47,60
ETR (mm)	22,41	33,63	45,15	51,60	49,70	43,03	41,03	34,82	35,90	50,64	51,32	37,91
Escorrentía (mm)	1,05	6,27	15,05	36,20	30,32	19,40	14,42	6,69	7,60	34,89	24,38	9,68
Escorrentía (m³/s)	0,02	0,09	0,23	0,54	0,46	0,29	0,22	0,10	0,11	0,53	0,37	0,15

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 24. Resultados de Escorrentía para la Subcuenca Río Teusacá.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	37,78	51,73	76,95	104,51	103,69	85,08	80,58	67,78	59,96	101,63	97,40	54,91
ETR (mm)	32,76	39,38	50,93	54,60	54,38	49,23	49,88	46,82	43,72	53,51	56,65	40,75
Escorrentía (mm)	5,02	12,35	26,02	49,91	49,31	35,85	30,70	20,95	16,24	48,12	40,75	14,16
Escorrentía (m³/s)	0,67	1,65	3,48	6,68	6,60	4,79	4,11	2,80	2,17	6,44	5,45	1,89

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con Gómez, Martínez, Soriano, Ariegui & Caballero (1999), la escorrentía superficial se ve afectada por la intensidad y duración de la precipitación, es decir, que con una mayor precipitación se espera que la escorrentía también sea mayor (Gómez, Martínez, Soriano, Ariegui, & Caballero, 1999). Esto se puede corroborar con la Subcuenca del Río Negro, la cual, presentó los valores más altos de precipitación y por ende de escorrentía. Además, la escorrentía superficial se produce en determinadas condiciones del suelo, según Espinoza y Custodio (2016), se presenta escorrentía cuando “ha llovido durante días consecutivos y la lluvia acumulada supera los 100 mm”, en pocas palabras, cuando el suelo se encuentra saturado o hay mucha humedad en él, es más probable que haya una mayor escorrentía superficial (Espinoza & Custodio, 2016).

En relación con las subcuencas de la cuenca Media del Río Bogotá, las subcuencas del Río Teusacá, Río Negro, Río Frío y Río Chicú presentan una condición climática húmeda, favoreciendo la escorrentía superficial (CAR, 2006).

10.1.7 Balance hídrico.

Para la determinación del balance hídrico se tiene en cuenta la metodología planteada por el IDEAM en la guía metodológica y conceptual para la Evaluación Regional del Agua 2013, la cual, establece que para la determinación del balance hídrico se deben tener los valores de la escorrentía total mensual en milímetros (mm) (Tabla 27 a la Tabla 33) para ser comparados con otras alternativas de obtención de escorrentía (modelo o estación).

10.1.7.1 Subcuenca- Embalse del Muña.

Tabla 25. Balance hídrico Subcuenca Embalse del Muña

MES	BALANCE HÍDRICO (m ³ /s)	ESTACIÓN VILLABLANCA
ENE	0,09	0,106
FEB	0,38	0,083
MAR	0,84	0,149
ABR	1,98	0,316
MAY	1,73	0,324
JUN	0,92	0,229
JUL	0,63	0,118
AGO	0,34	0,118
SEP	0,48	0,112
OCT	1,99	0,162
NOV	1,40	0,321
DIC	0,60	0,222

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con la Figura 8, la Subcuenca Embalse del Muña presenta un comportamiento bimodal, con dos períodos húmedos entre abril a mayo (escorrentía entre 1.73-1.98 m³/s) y entre octubre a noviembre (escorrentía entre 1.40-1.99 m³/s). Además, el período seco corresponde a los meses de diciembre a enero (escorrentía entre 0.09 a 0,60 m³/s) y de julio a septiembre (escorrentía entre 0.34 a 0.63 m³/s). Se puede evidenciar en la gráfica, que los valores de la estación Villablanca a pesar de tener un comportamiento parecido al del balance hídrico, sus datos se encuentran con una gran diferencia al de estos últimos, esto se debe a que la estación de monitoreo se encuentra arriba del embalse por lo que no obtiene un 100% de cobertura de área de la cuenca, caso contrario con el balance hídrico.

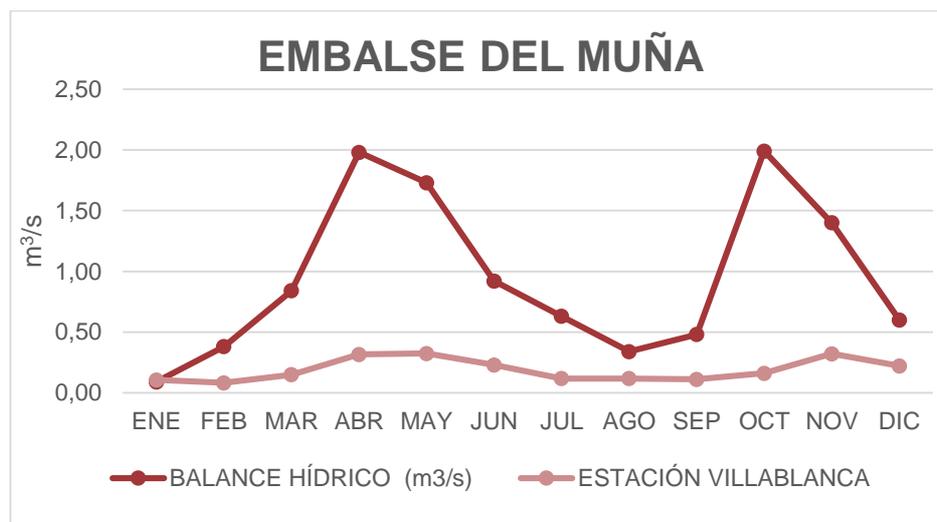


Figura 8., Balance hídrico Subcuenca Embalse del Muña

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.7.2 Subcuenca- Río Balsillas.

Tabla 26. Balance hídrico Subcuenca del Río Balsillas.

Mes	Balance hídrico (m ³ /s)	Estación El Bosque y El Recreo
ENE	1,42	0,835
FEB	3,11	0,704
MAR	7,47	1,320
ABR	13,57	2,106
MAY	10,07	2,747
JUN	3,64	1,679
JUL	2,43	1,219
AGO	2,34	0,884
SEP	3,67	0,931
OCT	13,87	1,629
NOV	10,71	3,155
DIC	4,19	2,348

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede observar a partir de la Figura 9, que la Subcuenca del Río Balsillas presenta un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos de marzo a mayo (escorrentía entre 7.47 a 13.57 m³/s) y de octubre a noviembre (escorrentía entre 10.71 y 13.87 m³/s), y con dos períodos secos de diciembre a enero (escorrentía entre 1.42 a 4.19 m³/s) y de junio a septiembre (escorrentía entre 2.34 a 3.67 m³/s). Los datos tomados por las estaciones se encuentran en la parte media de la subcuenca, por lo que, si éstas se encontraran al cierre de la misma, los resultados serían similares a los presentados por el balance hídrico.

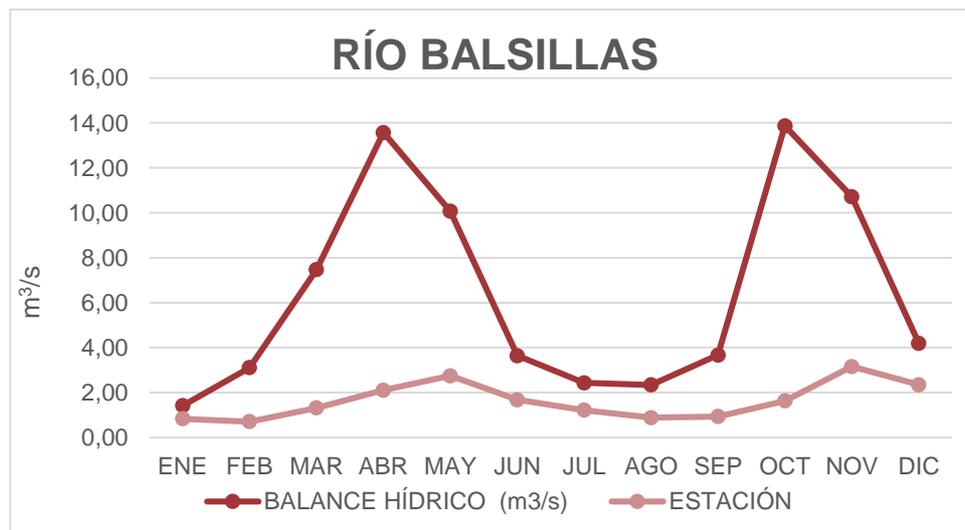


Figura 9. Balance Hídrico Subcuenca del Río Balsillas.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.7.1 Subcuenca – Río Chicú.

Tabla 27. Balance hídrico Subcuenca del Río Chicú.

Mes	Balance hídrico (m ³ /s)	Estación La Mercedes
ENE	0,13	0,22
FEB	0,44	0,21
MAR	1,00	0,26
ABR	2,24	0,59
MAY	1,75	0,39
JUN	0,67	0,28
JUL	0,51	0,25
AGO	0,41	0,26
SEP	0,69	0,27
OCT	2,33	0,33
NOV	1,50	0,51
DIC	0,57	0,50

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con la Figura 10, la Subcuenca del Río Chicú presenta un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos de marzo a mayo (escorrentía entre 1.00 a 2.24 m³/s) y de octubre a noviembre (escorrentía entre 1.50 y 2.33 m³/s), y con dos períodos secos de diciembre a febrero (escorrentía entre 0.13 a 0.57 m³/s) y de junio a septiembre (escorrentía entre 0.41 a 0.69 m³/s). La diferencia de caudales entre el balance y los datos registrados en Las Mercedes se explica, por cuanto la estación se encuentra localizada en la parte alta con una cobertura del 20% del área.

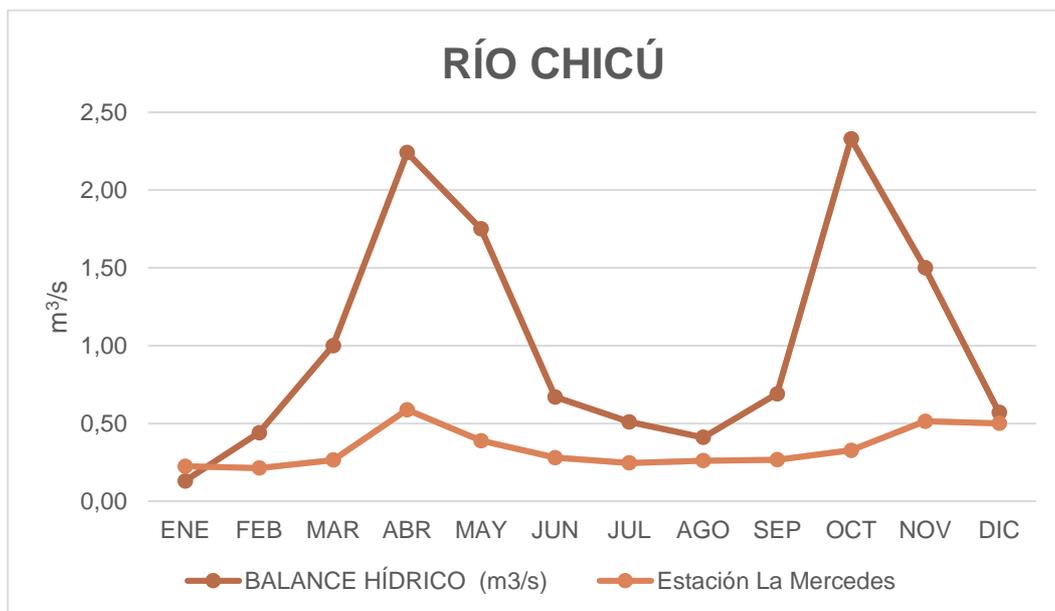


Figura 10. Balance hídrico Subcuenca del Río Chicú.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.7.2 Subcuenca- Río Frío.

Tabla 28. Balance hídrico Subcuenca del Río Frío.

Mes	Balance hídrico (m ³ /s)	Estación Puente Cacique
ENE	0,43	0,719
FEB	1,02	0,686
MAR	2,20	1,542
ABR	4,49	3,023
MAY	3,74	3,423
JUN	1,93	1,919
JUL	1,78	2,079
AGO	1,49	1,698
SEP	1,65	1,145
OCT	4,68	2,088
NOV	3,50	3,568
DIC	1,26	2,744

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con la Figura 11, la Subcuenca del Río Frío presenta un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos de marzo a mayo (escorrentía entre 2.20 a 3.74 m³/s) y de octubre a noviembre (escorrentía entre 3.50 y 4.68 m³/s), y con dos períodos secos de diciembre a febrero (escorrentía entre 0.43 a 1.26 m³/s) y uno menos drástico de junio a septiembre (escorrentía entre 1.49 a 1.93 m³/s). Se puede observar la correlación de los datos de la Estación Puente Cacique con el Balance hídrico presentado, en la cual, se ve que no hay una diferencia significativa entre los mismos, debido principalmente, a que la estación se encuentra al cierre de la subcuenca hidrográfica.

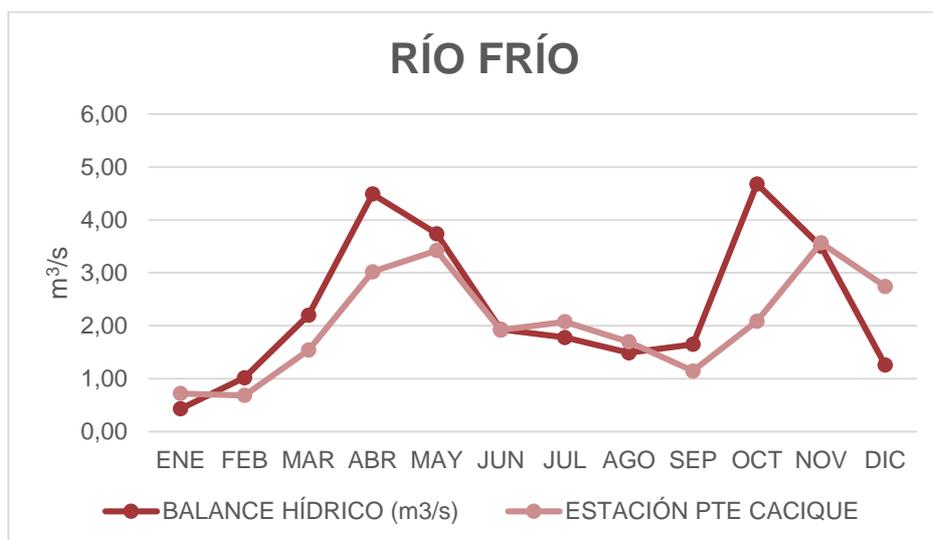


Figura 11. Balance hídrico Subcuenca del Río Frío.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.7.3 Subcuenca- Río Soacha.

Tabla 29. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Soacha.

Mes	Balance hídrico (m ³ /s)	Modelo
ENE	0,02	0,057
FEB	0,09	0,124
MAR	0,23	0,176
ABR	0,54	0,510
MAY	0,46	0,414
JUN	0,29	0,283
JUL	0,22	0,144
AGO	0,10	0,078
SEP	0,11	0,154
OCT	0,53	0,495
NOV	0,37	0,264
DIC	0,15	0,111

Fuente: (Camelo,2018)

Con respecto a la Figura 12, la Subcuenca del Río Soacha presenta un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos de marzo a mayo (escorrentía entre 0.23 a 0.46 m³/s) y de octubre a noviembre (escorrentía entre 0.37 y 0.53 m³/s), y con dos períodos secos de diciembre a febrero (escorrentía entre 0.02 a 0.15 m³/s) y de junio a septiembre (escorrentía entre 0.10 a 0.29 m³/s). Además, se puede observar que los datos obtenidos por medio del Modelo SCS Soil, no tienen una relación directa con el balance hídrico, lo que supondría una revisión detallada del mismo, para que en próximas predicciones pueda ser más certero.

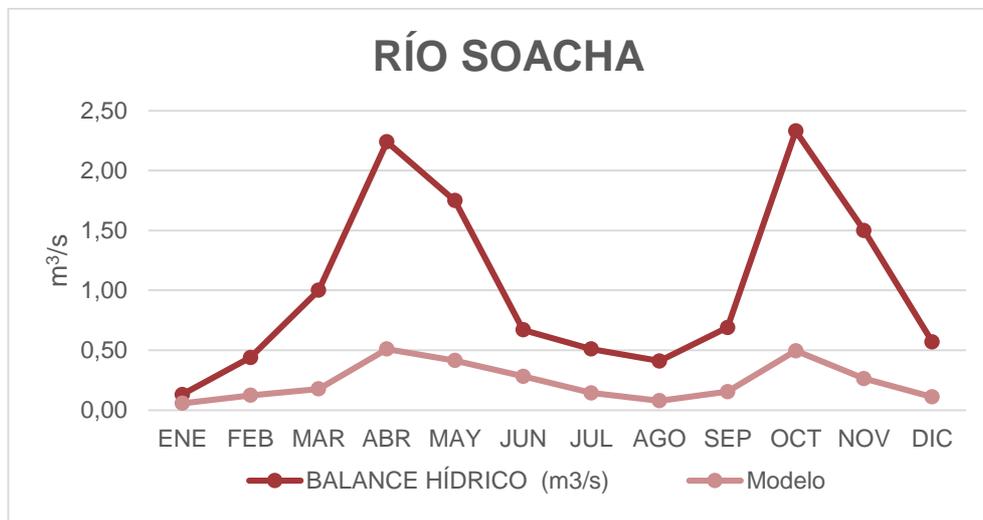


Figura 12. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Soacha.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.7.4 Subcuenca – Río Negro.

Tabla 30. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Negro.

Mes	Balance hídrico (m ³ /s)	Modelo
ENE	0,29	0,217
FEB	0,48	0,185
MAR	0,96	0,143
ABR	1,39	0,273
MAY	1,01	0,219
JUN	0,41	0,193
JUL	0,26	0,187
AGO	0,23	0,171
SEP	0,46	0,192
OCT	1,41	0,194
NOV	1,21	0,210
DIC	0,60	0,237

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede observar que en la Figura 13, la Subcuenca del Río Soacha tiene un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos de marzo a mayo (escorrentía entre 0.96 a 1.39 m³/s) y de octubre a noviembre (escorrentía entre 1.21 y 1.41 m³/s), y con dos períodos secos de diciembre a febrero (escorrentía entre 0.29 a 0.60 m³/s) y de junio a septiembre (escorrentía entre 0.23 a 0.46 m³/s). El modelo demuestra que debe ser calibrado y revisado con regularidad, para que la varianza de los valores no sea tan grande y pueda simular situaciones hidrológicas de manera eficiente, además, cabe recalcar, que el modelo implementado no tiene incorporada la demanda hídrica, lo cual supone, una disminución considerable de los valores encontrados por este.

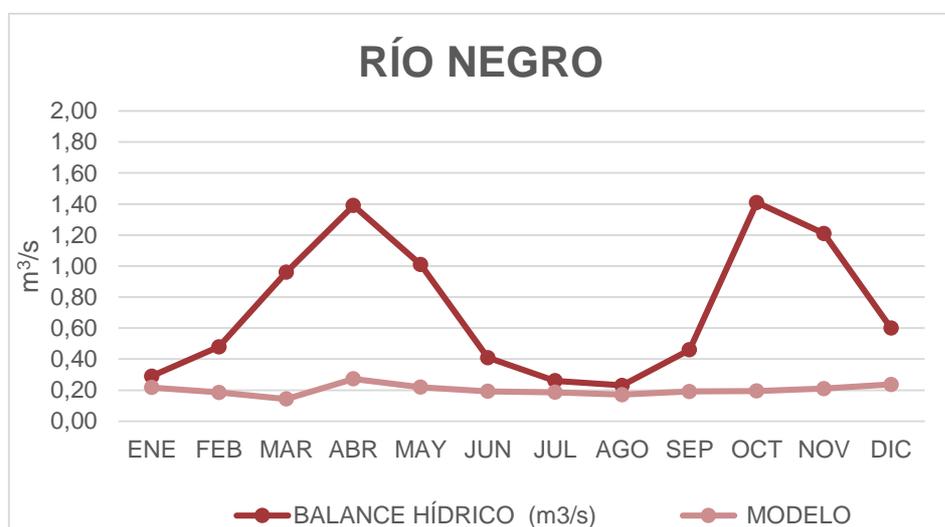


Figura 13. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Negro.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.7.5 Subcuenca- Río Teusacá.

Tabla 31. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Teusacá.

Mes	Balance hídrico (m ³ /s)
ENE	0,67
FEB	1,65
MAR	3,48
ABR	6,68
MAY	6,60
JUN	4,79
JUL	4,11
AGO	2,80
SEP	2,17
OCT	6,44
NOV	5,45
DIC	1,89

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede observar que en la Figura 14, la Subcuenca del Río Soacha tiene un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos de abril a mayo (escorrentía entre 6.60 a 6.68 m³/s) y de octubre a noviembre (escorrentía entre 5.45 y 6.44 m³/s), y con dos períodos secos de diciembre a marzo (escorrentía entre 0.67 a 3.48 m³/s) y de junio a septiembre (escorrentía entre 2.17 a 4.79 m³/s). Esta subcuenca no tuvo estación o modelo de comparación, debido a que esta, se encuentra conformada por un Teusacá regulado y un Teusacá no regulado, el cual, a la hora de realizar el balance hídrico, presenta dificultades para calcularlo.

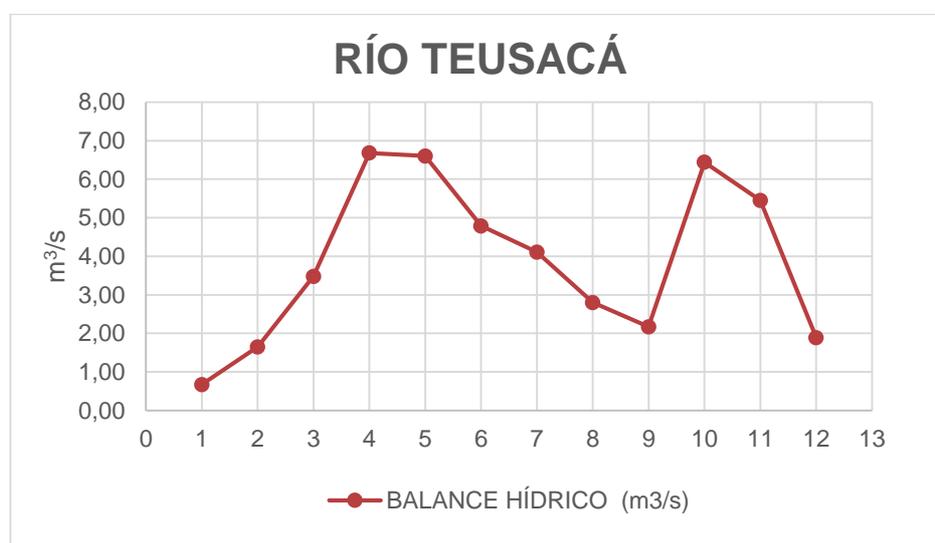


Figura 14. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Teusacá.

Fuente: (Camelo,2018)

En términos generales, la cuenca Media del Río Bogotá presenta un comportamiento bimodal con períodos húmedos de abril a mayo y de octubre a noviembre y con períodos secos de diciembre a marzo y de junio a septiembre. Según Jaramillo y Chávez, las distribuciones de tipo bimodal se dan en regiones donde pasa la zona de confluencia intertropical (ZCIT) en dos

épocas del año, principalmente en el departamento de Cundinamarca (Jaramillo & Chaves, 2000)

10.1.8 Caudal Ambiental.

Para el cálculo de los caudales ambientales de las subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá, se determinaron las estaciones de cierre de cuenca de las 7 subcuencas para elaborar las curvas de duración de caudales medios mensuales con las series históricas de cada una de las mismas. Se tiene en cuenta que con un Índice de Regulación Hídrica alto y bajo el caudal ambiental toma un valor del 85 % y 75% del tiempo respectivamente, de acuerdo a la guía para la elaboración de las ERA del IDEAM.

10.1.8.1 Subcuenca Embalse del Muña.

Se tomaron los caudales medios mensuales de la estación Villablanca a través del boletín de caudales de la Corporación Autónoma Regional –CAR, el cual tiene un caudal ambiental al 75 % de 0,034 m³/s con una serie histórica de 1997-2017 (20 años).

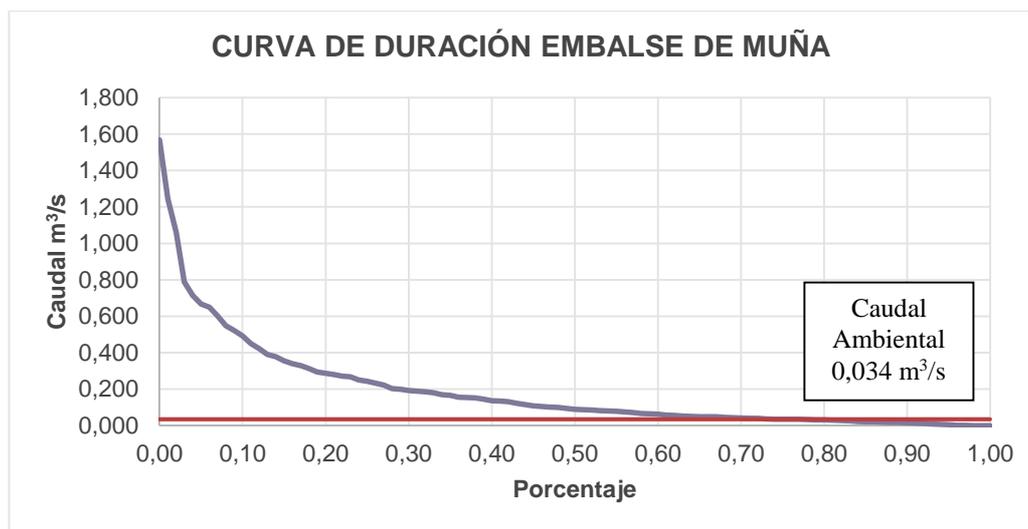


Figura 15. Curva de duración Subcuenca Embalse del Muña.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.8.2 Subcuenca del Río Balsillas.

Para la determinación del caudal ambiental para la subcuenca del río Balsillas, se tuvieron en cuenta las series históricas de caudales medios mensuales de las estaciones El Bosque y El Recreo, las cuales, se sumaron para obtener el caudal de cierre de la subcuenca. Se obtuvo como resultado un caudal ambiental al 75% de 0,565 m³/s con un período entre 2000-2017 (17 años).

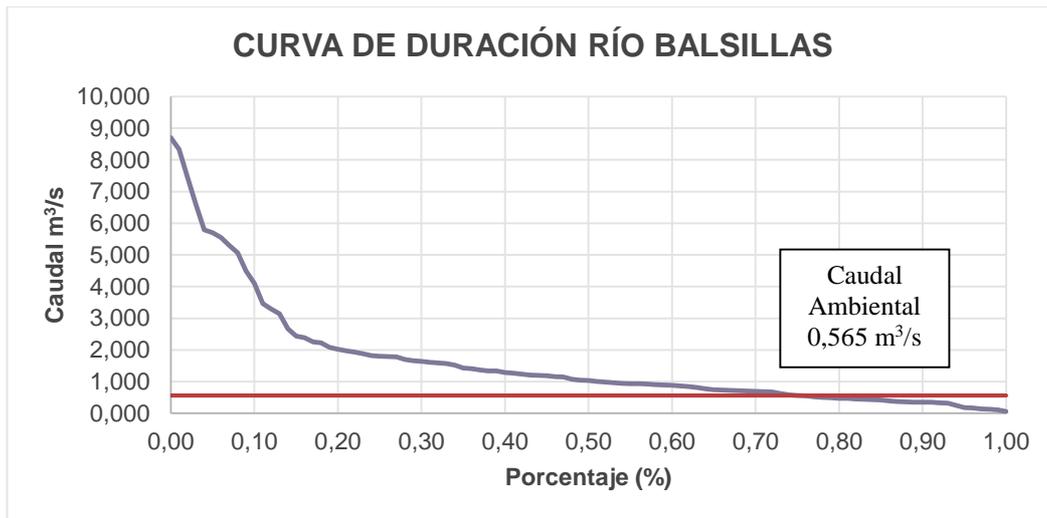


Figura 16. Curva de duración del Río Balsillas.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.8.3 Subcuenca Río Chicú.

Para calcular el caudal ambiental de la subcuenca del Río Chicú, se tomó como base la estación de La Mercedes, la cual, por medio de la fórmula de rendimiento se obtuvo la serie de caudales medios mensuales para toda la subcuenca. Como resultado se obtuvo un caudal ambiental al 75 % con un valor de 0,039 m³/s dentro del período comprendido entre 1991-2017 (26 años).

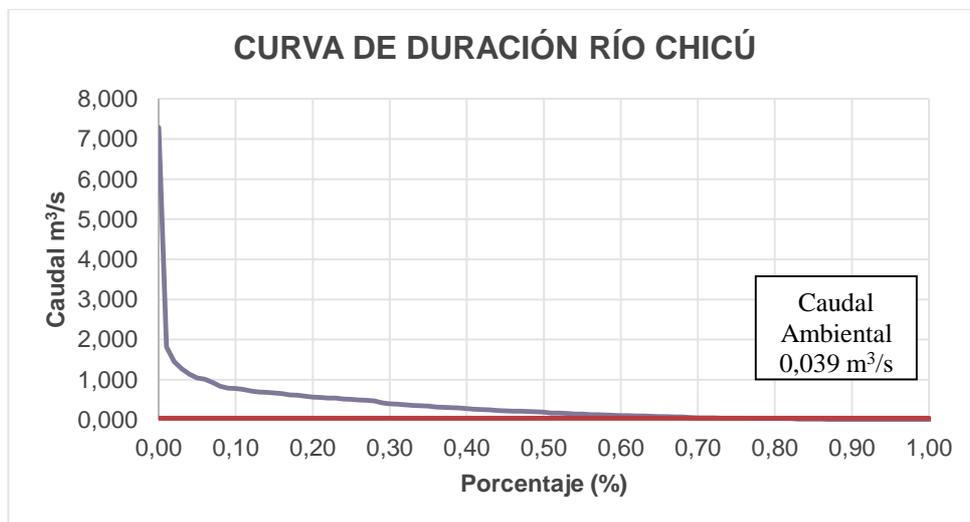


Figura 17. Curva de duración de la subcuenca del Río Chicú.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.8.4 Subcuenca del Río Frío.

Se tomaron los caudales medios mensuales de la estación Puente Cacique a través del boletín de caudales de la Corporación Autónoma Regional –CAR, el cual tiene un caudal ambiental al 75 % de 0,771 m³/s con una serie histórica de 2007-2017 (10 años).

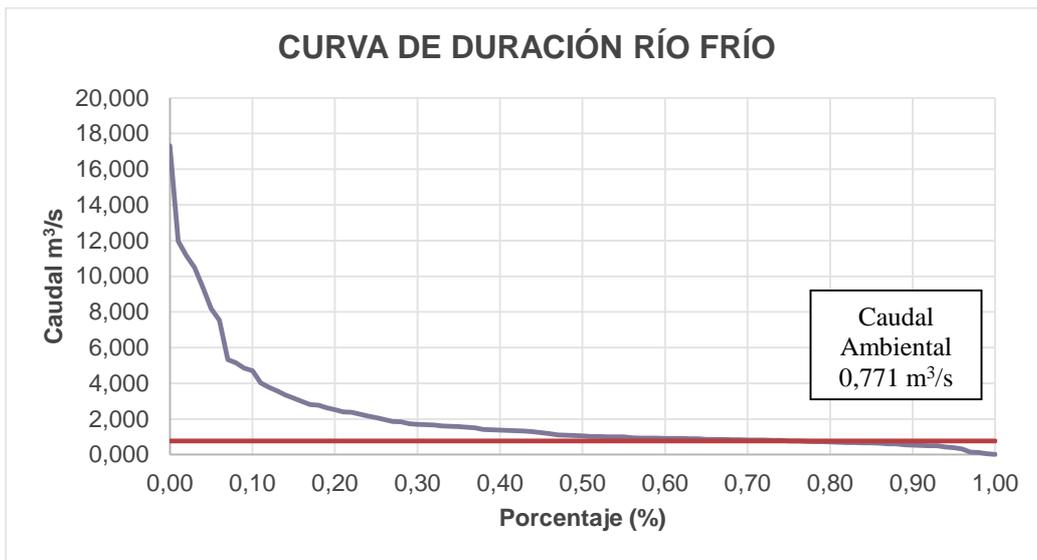


Figura 18. Curva de duración subcuena del Río Frío.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.8.5 Subcuena Río Soacha.

Para la determinación del caudal ambiental, se tomaron los valores obtenidos del Modelo SCS Soil dando como resultado un caudal ambiental al 75% con un valor de 0,040 m³/s, con un período de 1993-2014 (21 años).

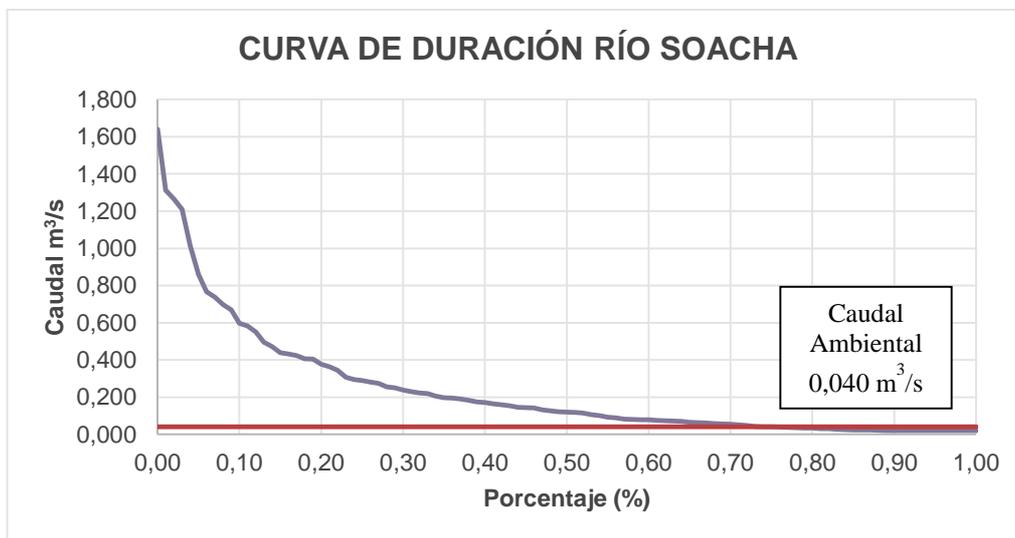


Figura 19. Curva de duración de la subcuena del Río Soacha.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.8.6 Subcuenca Río Negro.

Para la estimación del caudal ambiental de la subcuenca del Río Negro, se tomaron los valores calculados a través del modelo proporcionado por la Corporación Autónoma Regional-CAR, dando como resultado un caudal ambiental al 85% con un valor de $0.182 \text{ m}^3/\text{s}$ y un período de 20 años.

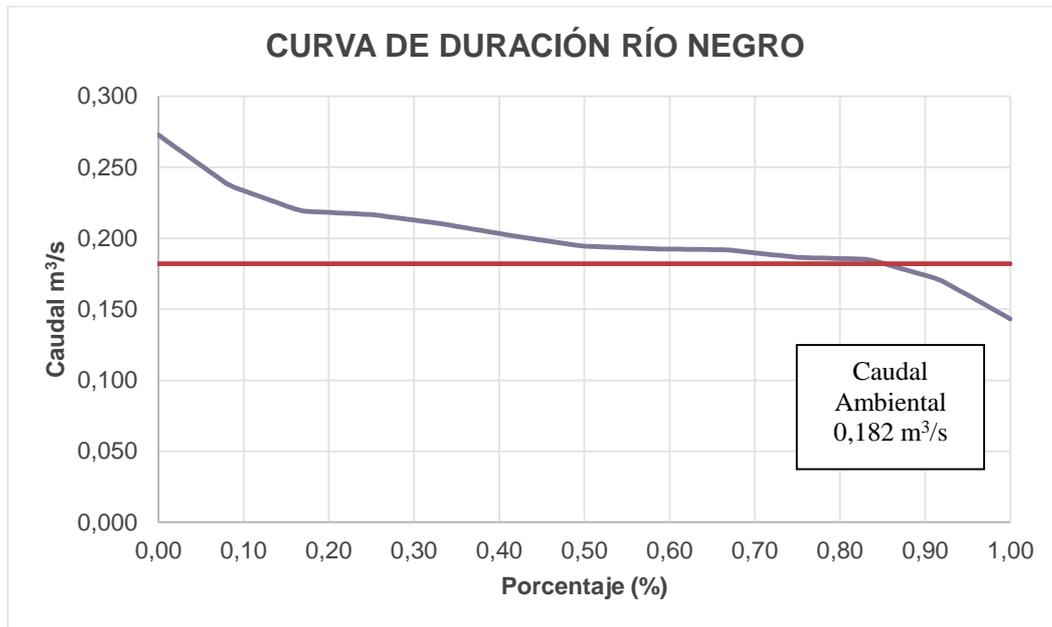


Figura 20. Curva de duración de la Subcuenca de Río Negro.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.8.7 Subcuenca Río Teusacá.

La subcuenca del Río Teusacá se encuentra dividida en Teusacá regulado y Teusacá no regulado, por lo que, para obtener un valor total de la subcuenca, se deben conocer los valores de las divisiones del mismo. Sin embargo, al no tener la información completa de cada una de ellas, solamente se pudo determinar el caudal ambiental para Teusacá alto, a través, de la estación Puente Francis. El valor del caudal ambiental al 75% fue de $0.352 \text{ m}^3/\text{s}$, con un periodo comprendido entre 1998-2017 (29 años).

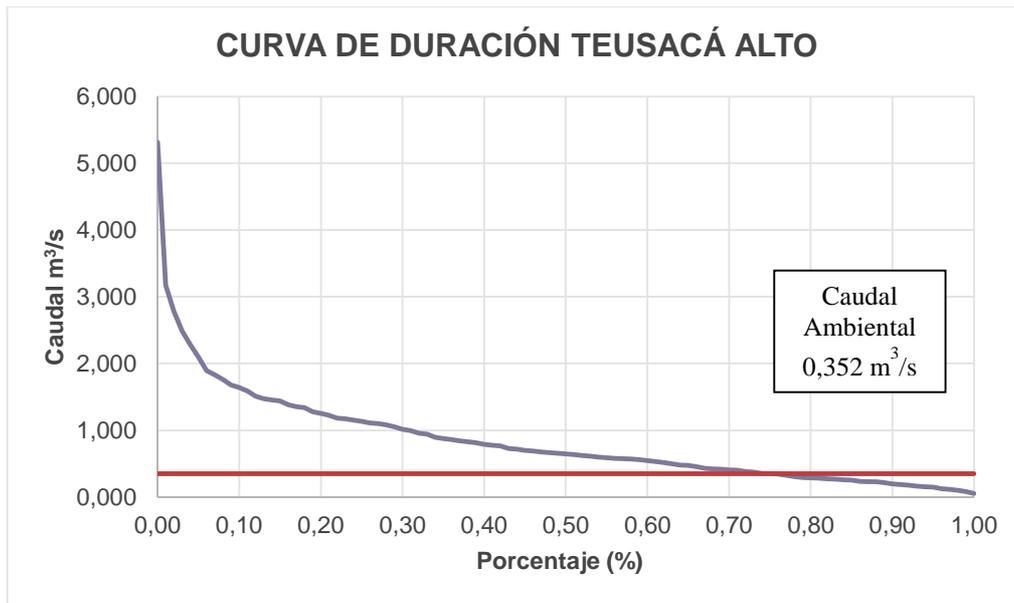


Figura 21. Curva de duración de la subcuenca del Río Teusacá alto.

Fuente: (Camelo,2018)

En la Tabla 34, se presenta el resumen de caudales ambientales por cada una de las subcuencas de la cuenca Media del Río Bogotá.

Tabla 32. Resumen de caudales ambientales por cada subcuenca.

SUBCUENCA	IRH	IRH (categorizado)	Q_{amb} (m^3/s)
Embalse de Muña	0,52	BAJO	0,034
Río Soacha	0,53	BAJO	0,040
Río Negro	0,95	MUY ALTO	0,182
Río Frio	0,58	BAJO	0,771
Río Teusacá alto	0,67	MODERADO	0,352
Río Balsillas	0,62	BAJO	0,565
Río chicú	0,45	MUY BAJO	0,039

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.9 Indicadores hidrológicos.

10.1.9.1 *Índice de Retención y Regulación hídrica – IRH.*

Para el cálculo del indicador, se hizo uso de la fórmula presentada en la Ecuación 16. Este indicador es adimensional y varía entre 0 y 1, donde el valor que más se acerque a 1 tiene una mejor capacidad de regulación y retención hídrica.

Ecuación 18. Índice de Retención y Regulación Hídrica

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

Donde:

V_p: Volumen representado por el área que se encuentra debajo de la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales.

V_t: Volumen total representado por el área total bajo la curva de duración de caudales diarios.

Para calcular este indicador, se tomaron la serie de caudales medios mensuales de las estaciones de cierre de cada una de las subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá, donde, se evaluó el tiempo total, delta de tiempo, el V_t, el V_p y el caudal se determinó para diferentes percentiles (0-100%), como se puede ver en el Anexo 2.

A continuación, se presenta la tabla de resultados del indicador de cada una de las subcuencas evaluadas con su respectiva comparación al año 2014.

Tabla 33. Comparación IRH 2014 vs. IRH actual.

SUBCUENCA	V _p	V _t	IRH 2017	IRH (categorizado)	IRH 2014	IRH (categorizado)
Embalse de Muña	66332478,76	126990741,60	0,52	BAJO	0,55	BAJO
Río Soacha	87550994,28	164929528,65	0,53	BAJO	0,55	BAJO
Río Negro	122314975,97	128629662,21	0,95	MUY ALTO	-	-
Río Frío	398116216,45	691781233,10	0,58	BAJO	0,51	BAJO
Río Teusacá alto	544462949,37	809243769,66	0,67	MODERADO	-	-
Río Balsillas	568806155,92	912044992,8	0,62	BAJO	0,91	MUY ALTO
Río chicú	342158593,12	154412154,35	0,45	MUY BAJO	-	-

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Tabla 35, más del 70% de las subcuencas de la cuenca Media del Río Bogotá presentan un IRH bajo y muy bajo a excepción de la subcuenca de Río Negro con un IRH muy alto. Además, algunas de las subcuencas analizadas en este trabajo no fueron evaluadas en la ERA anterior, lo que disminuye el poder de análisis sobre el comportamiento de las mismas. Sin embargo, se puede afirmar que no hay cambios considerables en los resultados obtenidos de las subcuencas Embalse del Muña, Río Soacha y Río Frío, con excepción de la subcuenca del Río Balsillas que su comportamiento de regulación de humedad disminuyó cerca de un 32%.

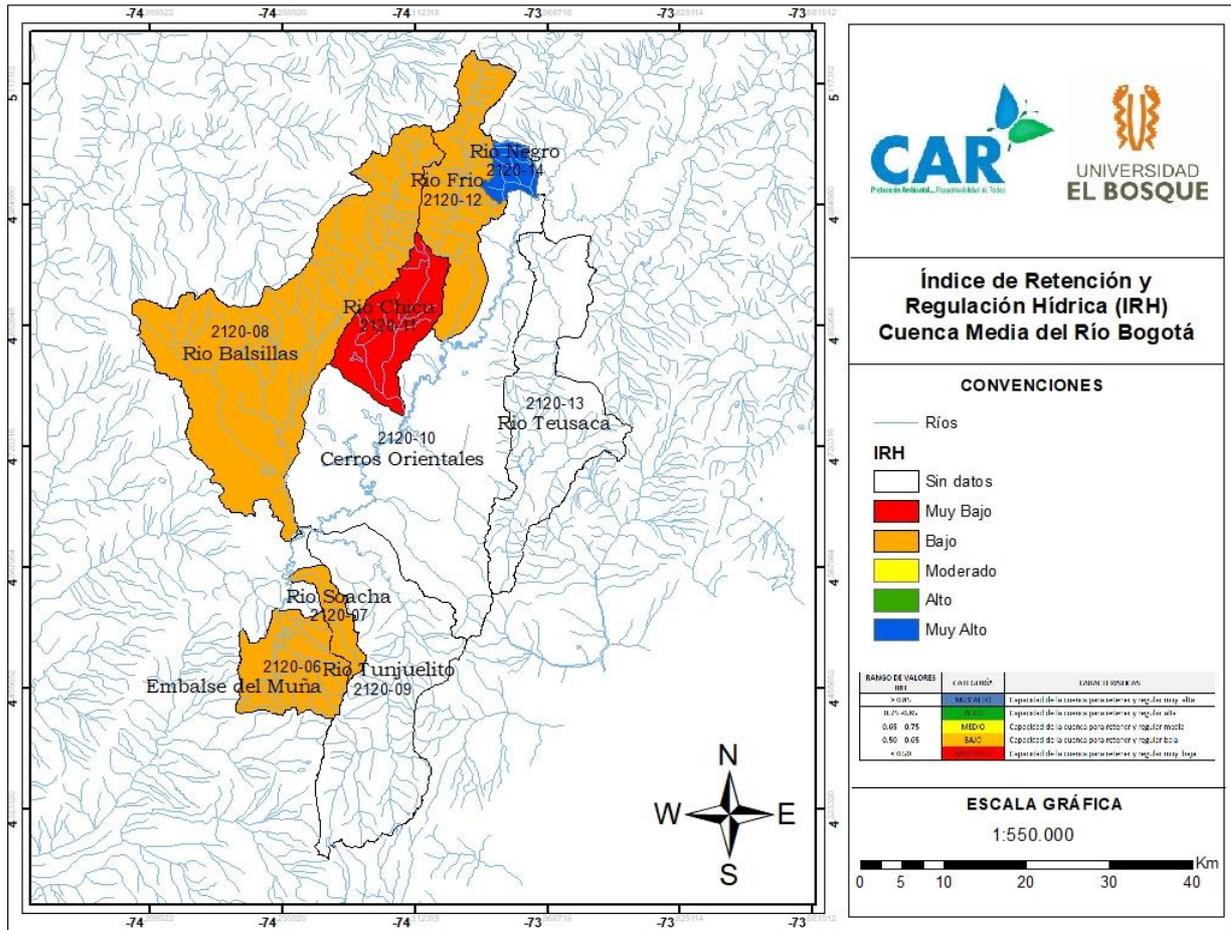


Figura 22. Índice de Regulación y Retención Hídrica Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.9.2 Índice de aridez – IA.

Para la determinación del índice de aridez se tiene en cuenta la evapotranspiración potencial (ETP) y la evapotranspiración real (ETR) de cada una de las subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá. Los cálculos realizados para la estimación del Índice de Aridez se encuentran en el Anexo 3.

Tabla 34. Índice de aridez medio mensual de la cuenca media del río Bogotá.

ÍNDICE DE ARIDEZ													
NOMBRE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Embalse del Muña	0,63	0,46	0,35	0,21	0,23	0,33	0,40	0,49	0,43	0,20	0,19	0,38	0,36
Rio Balsillas	0,52	0,39	0,26	0,17	0,21	0,35	0,43	0,44	0,37	0,16	0,14	0,34	0,32
Rio Chicú	0,61	0,45	0,34	0,21	0,24	0,39	0,44	0,47	0,39	0,20	0,21	0,41	0,37
Rio Frio	0,51	0,37	0,27	0,16	0,18	0,29	0,30	0,34	0,31	0,16	0,11	0,34	0,28
Rio Negro	0,37	0,26	0,18	0,13	0,16	0,29	0,38	0,41	0,30	0,13	0,09	0,24	0,25
Rio Soacha	0,68	0,48	0,37	0,22	0,25	0,32	0,38	0,49	0,46	0,23	0,21	0,42	0,38
Rio Teusacá	0,53	0,40	0,29	0,18	0,18	0,23	0,26	0,32	0,35	0,19	0,14	0,38	0,29

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede observar en la Tabla 36, que la mayoría de las subcuencas en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre tienen excedentes de agua, en contraste con el mes de enero, donde se presentan altos déficits de aguas, en el resto del año el comportamiento de la cuenca se encuentra moderado y con excedentes de agua.

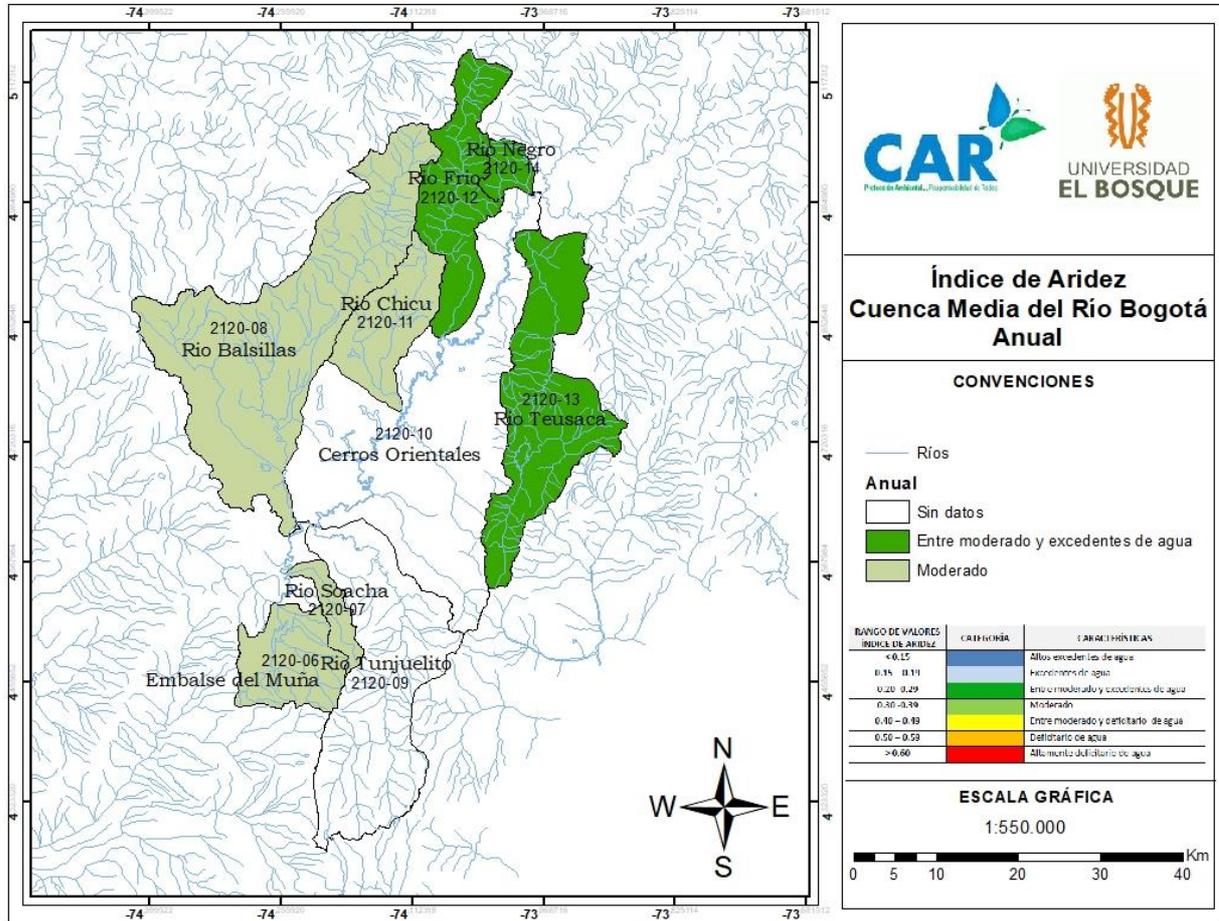


Figura 23. Índice de Aridez Anual de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de índice de aridez de la ERA del año 2014 en contraste con los resultados actuales (Tabla 37 a la 41). Cabe resaltar, que no se encuentran resultados asociados a las subcuencas del Río Chicú y Río Negro, debido a que en la ERA del 2014 no se trabajaron estas subcuencas como parte de la cuenca Media del Río Bogotá.

Tabla 35. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual -Embalse del Muña.

Subcuenca 2120-06 Embalse del Muña												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	68,39	63,68	70,20	65,25	65,20	62,29	65,25	66,97	65,25	64,21	64,21	64,06
ETR	25,01	34,49	45,70	51,70	50,20	41,94	39,14	34,08	37,42	51,07	52,29	39,42
I. ARIDEZ	0,63	0,46	0,35	0,21	0,23	0,33	0,40	0,49	0,43	0,20	0,19	0,38
AÑO 2014	0,53	0,43	0,22	0,18	0,18	0,38	0,41	0,41	0,30	0,16	0,20	0,37

Fuente: (Camelo,2018)

Como se observa en la Tabla 37, solo el 41% de los meses del año tienen un comportamiento similar al presentado hace cinco años. Teniendo, por el contrario, que el resto de los meses del año presentaron un aumento en sus valores, indicando la escasez de lluvias a través de los años.

Tabla 36. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual- Río balsillas

Subcuenca 2120-08 Río Balsillas												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	72,60	67,68	74,50	69,08	69,12	66,42	70,16	72,29	70,02	68,42	68,42	67,96
ETR	34,83	41,34	54,80	57,53	54,95	42,97	40,10	40,42	44,41	57,15	59,17	44,70
I. ARIDEZ	0,52	0,39	0,26	0,17	0,21	0,35	0,43	0,44	0,37	0,16	0,14	0,34
AÑO 2014	0,49	0,40	0,30	0,20	0,20	0,40	0,45	0,49	0,34	0,16	0,21	0,43

Fuente: (Camelo,2018)

En la Tabla 38, se identifica que el déficit de aguas ha disminuido considerablemente, dando como resultado una mejoría en el 58% de los meses del año. Lo que supone, que en estos cinco años la precipitación ha sido más abundante y la escasez de aguas es menor.

Tabla 37. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual- Río Frío.

Subcuenca 2120-12 Río Frío												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	68,78	64,05	70,60	65,60	65,57	62,68	65,71	67,47	65,69	64,60	64,60	64,42
ETR	33,88	40,38	51,26	54,86	53,51	44,59	45,82	44,61	45,60	54,44	57,52	42,53
I. ARIDEZ	0,51	0,37	0,27	0,16	0,18	0,29	0,30	0,34	0,31	0,16	0,11	0,34
AÑO 2014	0,54	0,39	0,29	0,15	0,17	0,30	0,36	0,39	0,33	0,13	0,20	0,45

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede evidenciar en la Tabla 39, que el comportamiento de la subcuenca se mantiene en 8 meses, correspondiente al 67% del año y con una mejoría considerable en los meses restantes. Es decir, que la subcuenca no ha tenido cambios drásticos en los años de estudio y su escasez ha disminuido.

Tabla 38. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual- Río Soacha.

Subcuenca 2120-07 Río Soacha												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	69,53	64,77	71,37	66,29	66,27	63,41	66,59	68,42	66,55	65,35	65,35	65,12
ETR	22,41	33,63	45,15	51,60	49,70	43,03	41,03	34,82	35,90	50,64	51,32	37,91
I. ARIDEZ	0,68	0,48	0,37	0,22	0,25	0,32	0,38	0,49	0,46	0,23	0,21	0,42
AÑO 2014	0,54	0,40	0,25	0,20	0,17	0,38	0,38	0,45	0,31	0,13	0,12	0,35

Fuente: (Camelo,2018)

En la Tabla 40, se puede observar que el 41% de los meses (5 meses) del año se mantuvieron constantes en la misma categoría, sin embargo, el restante presenta aumento en sus valores, indicando períodos de déficits de agua más frecuentes.

Tabla 39. Comparación Índice de Aridez 2014 vs. Actual- Río Teusacá.

Subcuenca 2120-13 Río Teusacá												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	69,98	65,19	71,83	66,69	66,68	63,85	67,10	68,98	67,05	65,80	65,80	65,53
ETR	32,76	39,38	50,93	54,60	54,38	49,23	49,88	46,82	43,72	53,51	56,65	40,75
I. ARIDEZ	0,53	0,40	0,29	0,18	0,18	0,23	0,26	0,32	0,35	0,19	0,14	0,38
AÑO 2014	0,55	0,37	0,27	0,18	0,18	0,40	0,44	0,51	0,35	0,12	0,13	0,37

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede observar en la Tabla 41, que el 58% de los meses del año se mantienen estables en cuanto a su categoría del Índice de Aridez y el restante tuvo una mejoría considerable, aumentando los períodos de excedentes de agua.

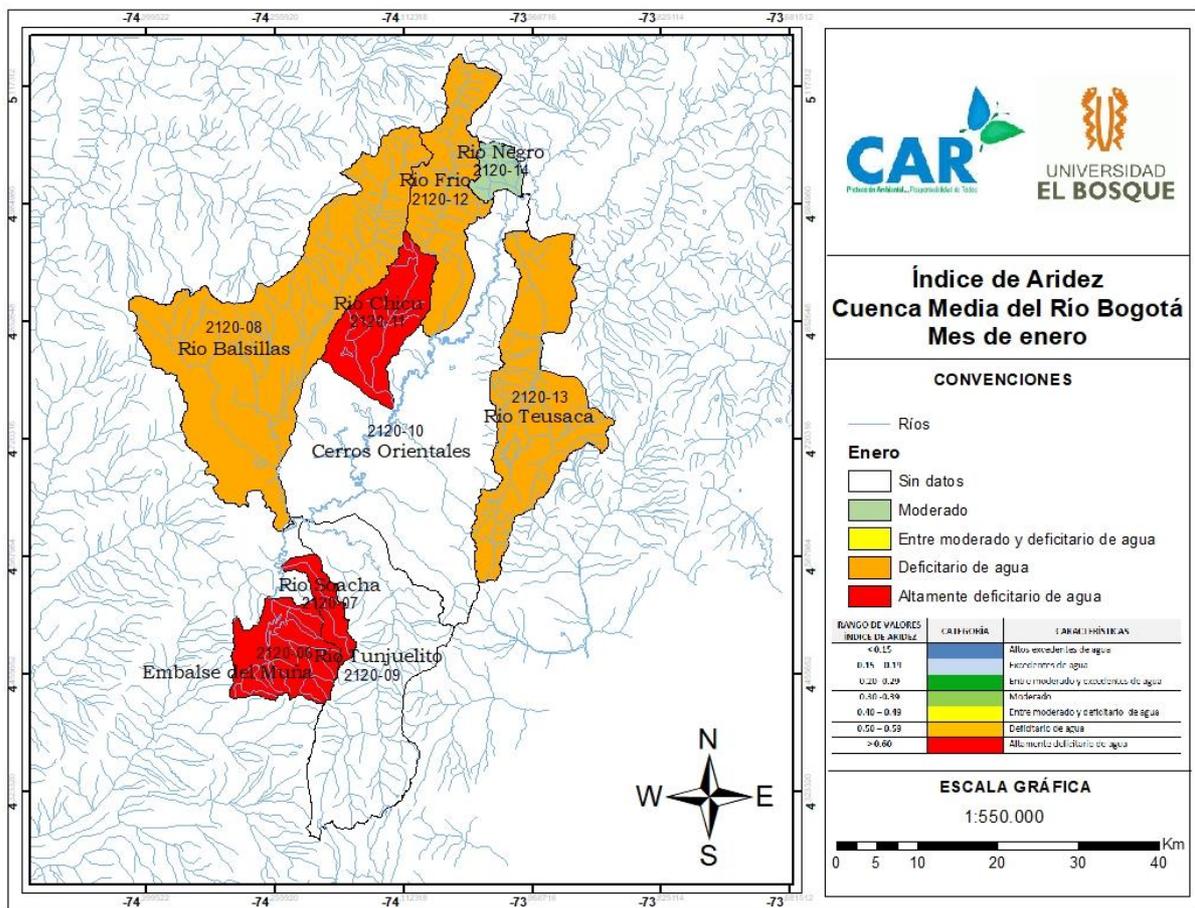


Figura 24. Índice de Aridez del mes de enero de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

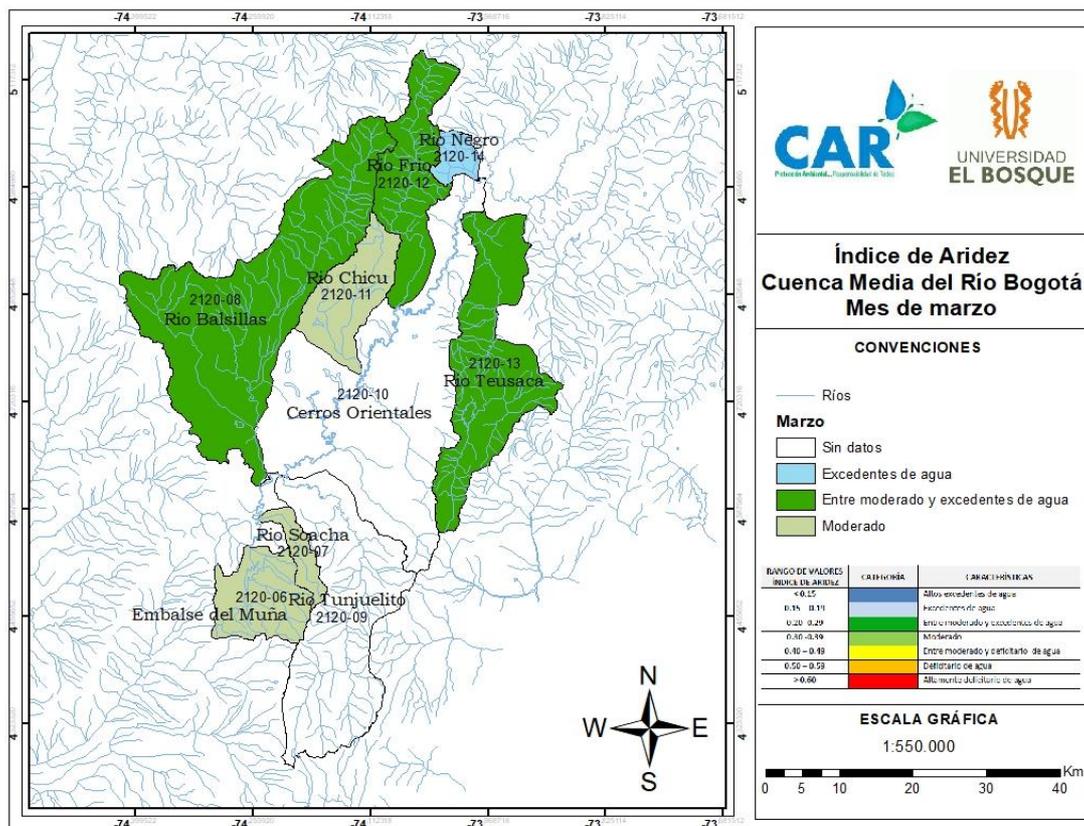
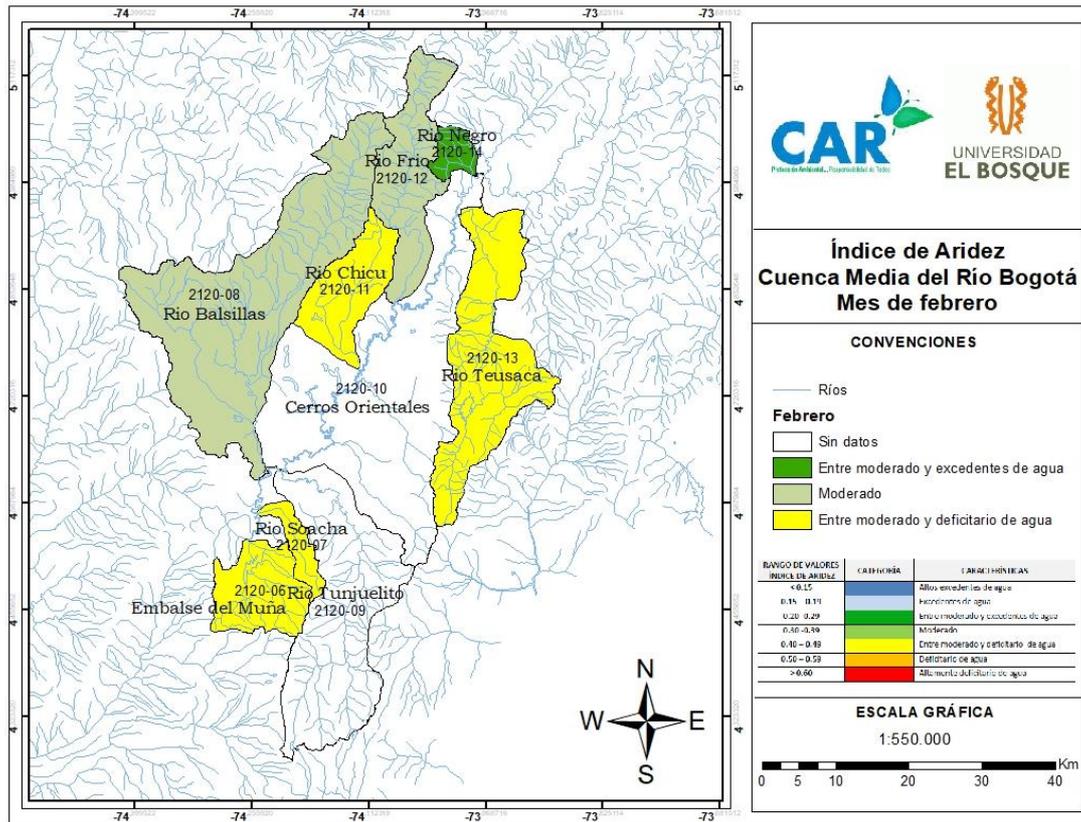


Figura 25. Índice de Aridez (febrero-marzo) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo, 2018)

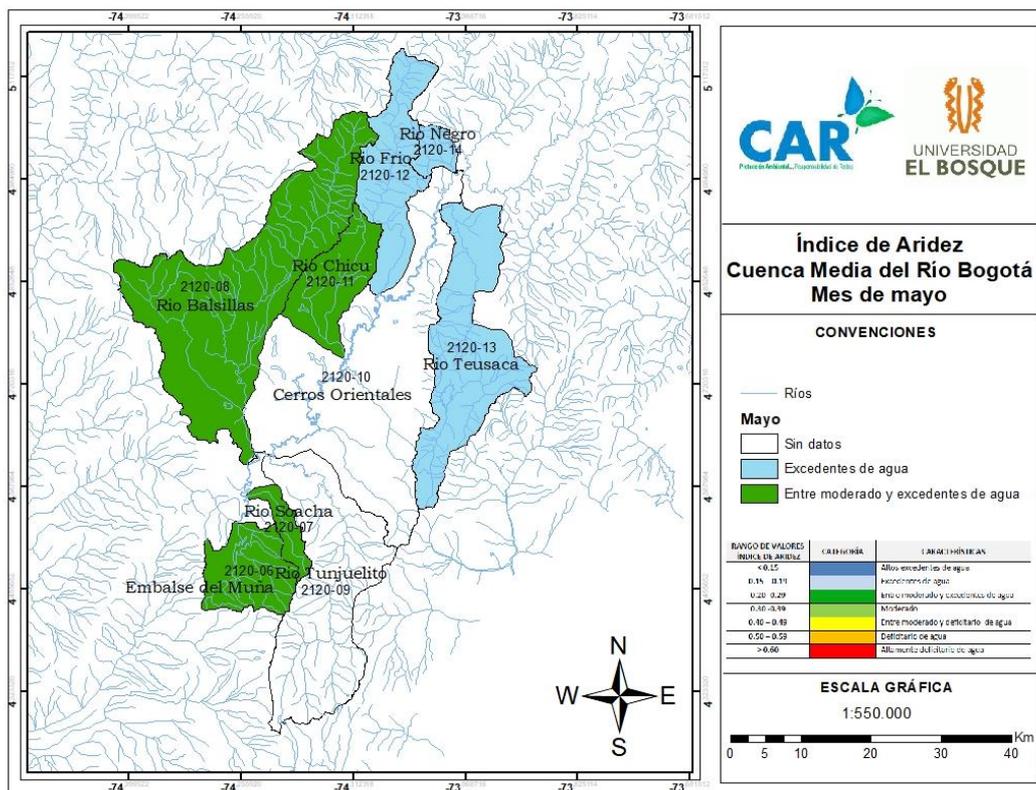
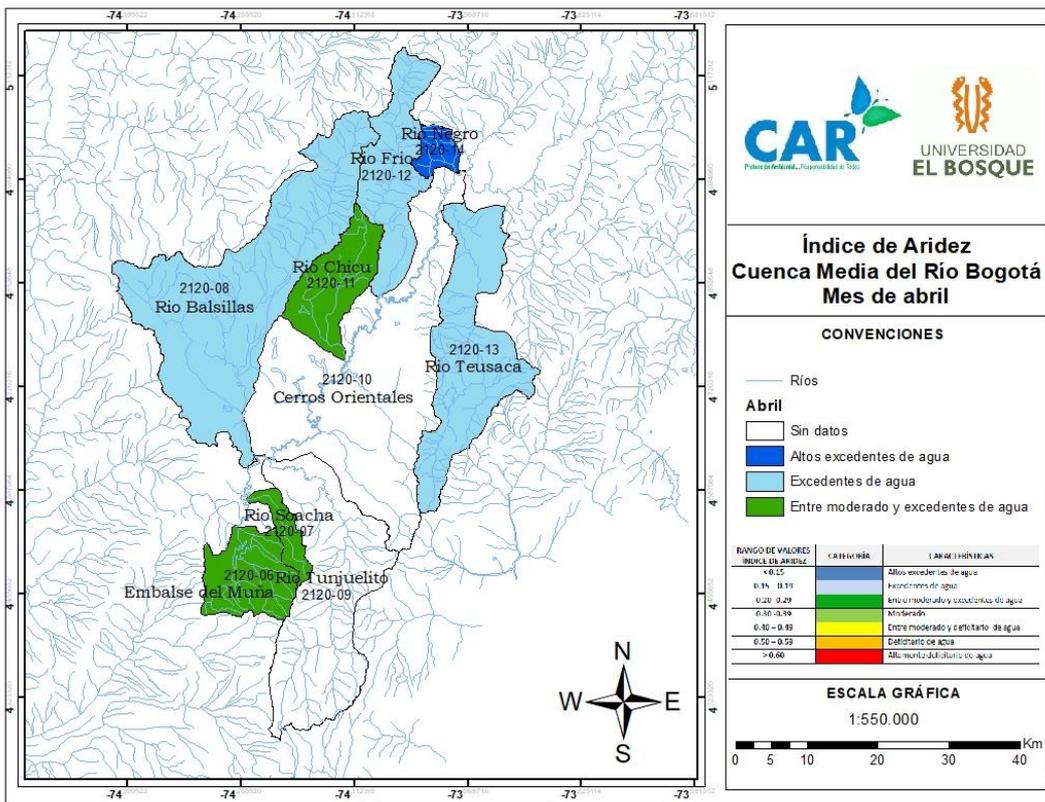


Figura 26. Índice de Aridez (abril-mayo) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo, 2018)

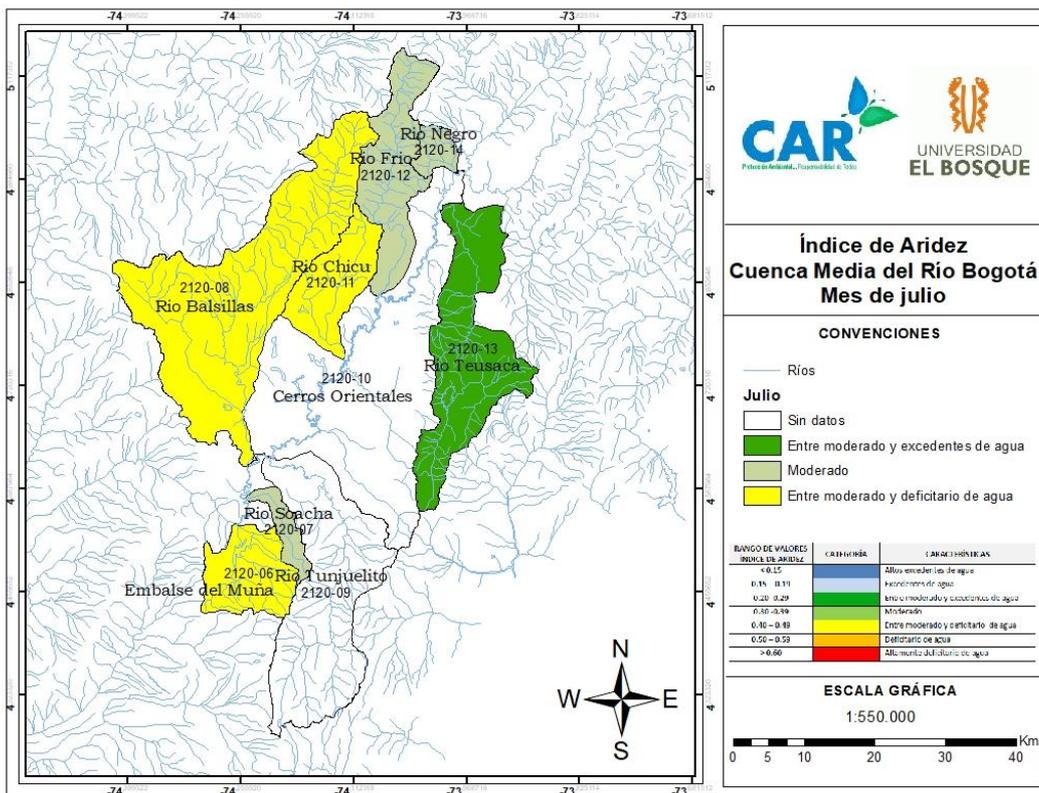
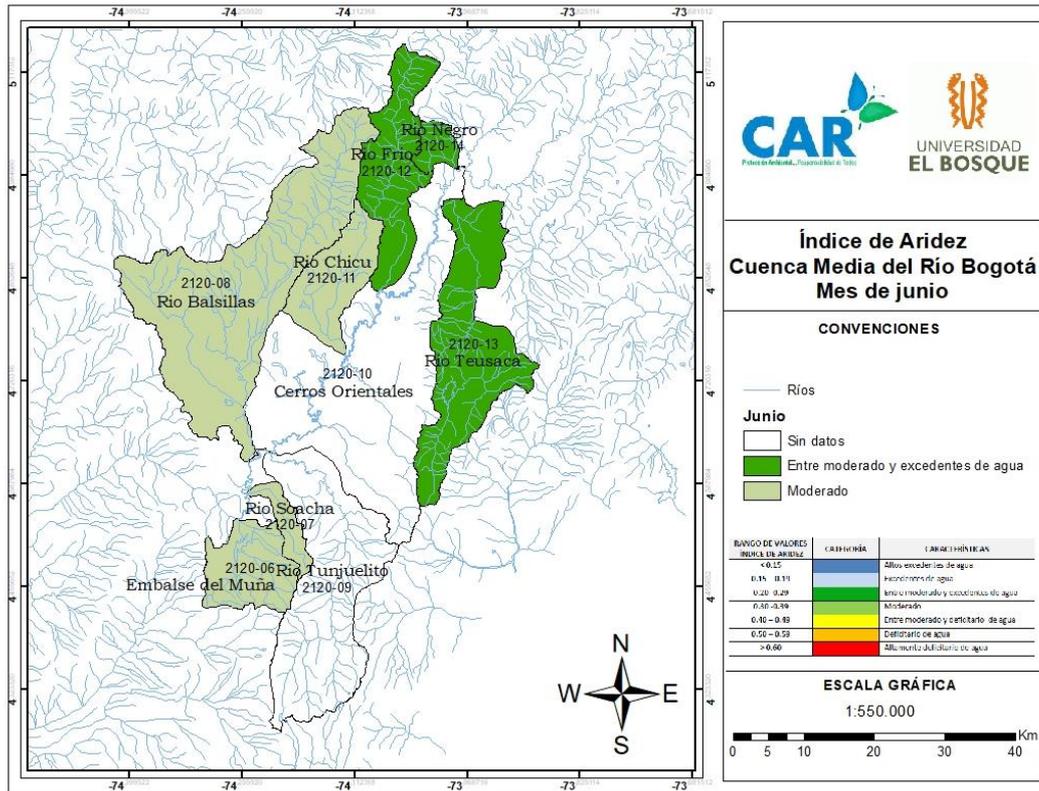


Figura 27. Índice de Aridez (junio-julio) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo, 2018)

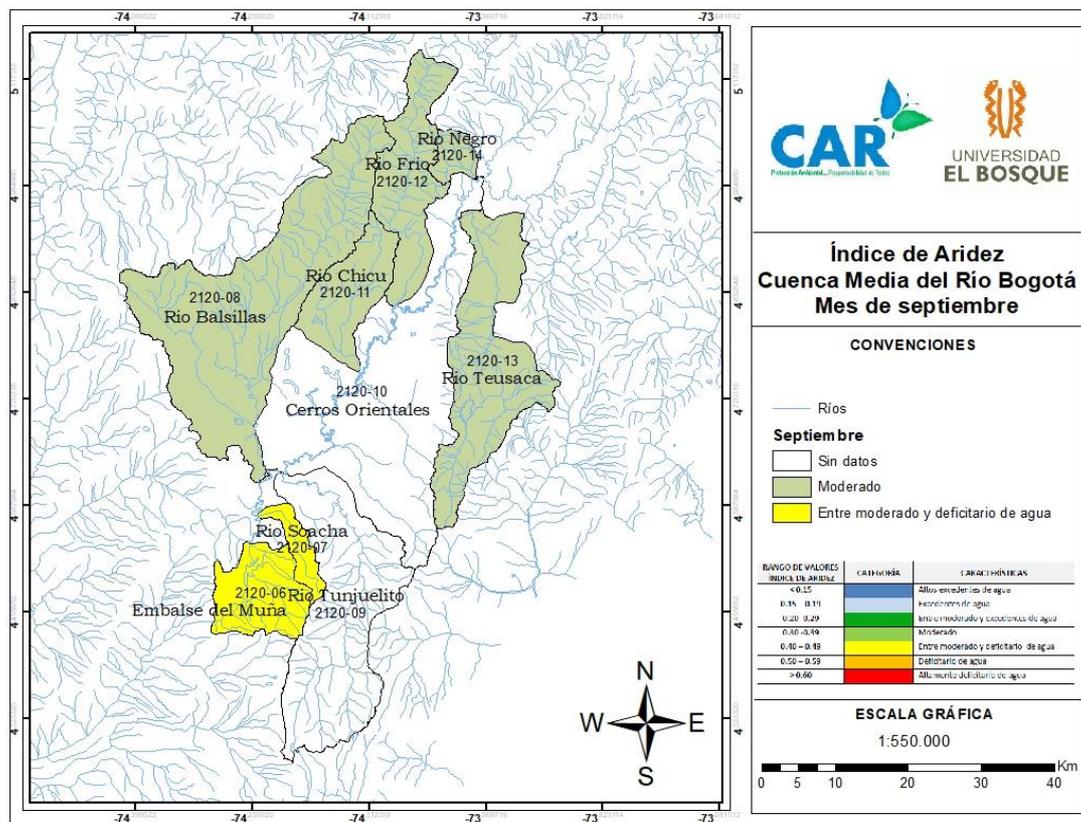
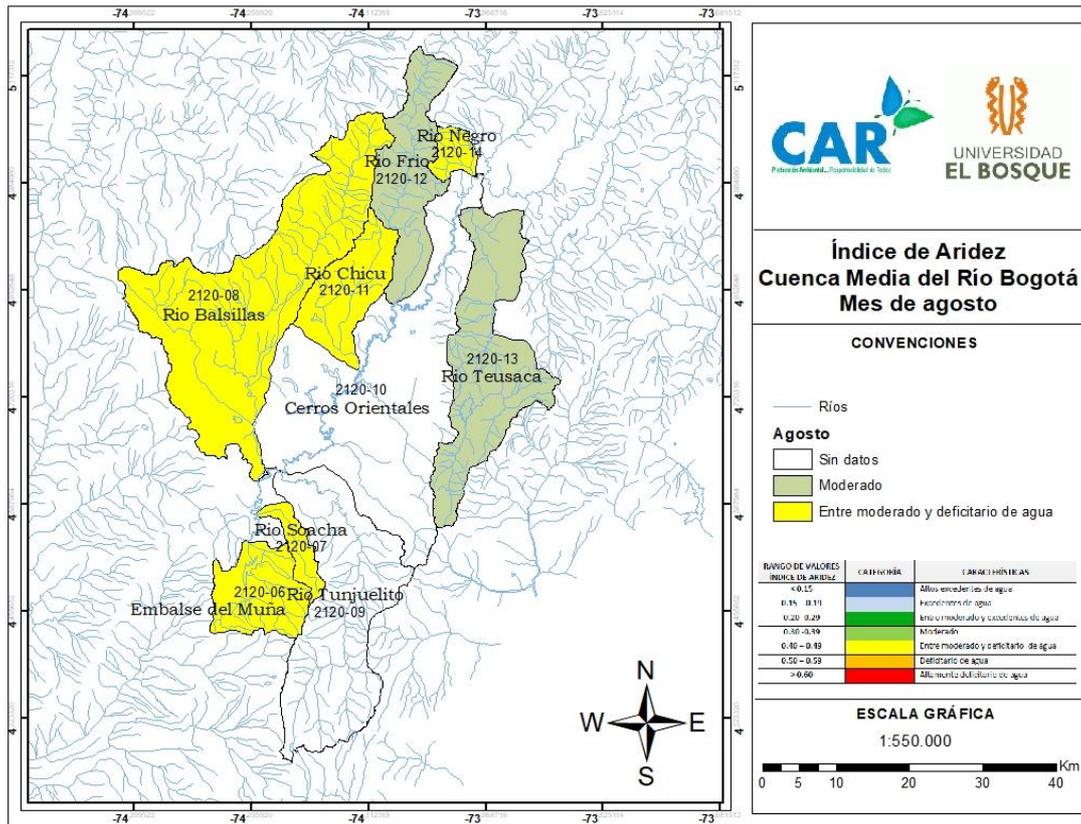


Figura 28. Índice de Aridez (agosto- septiembre) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

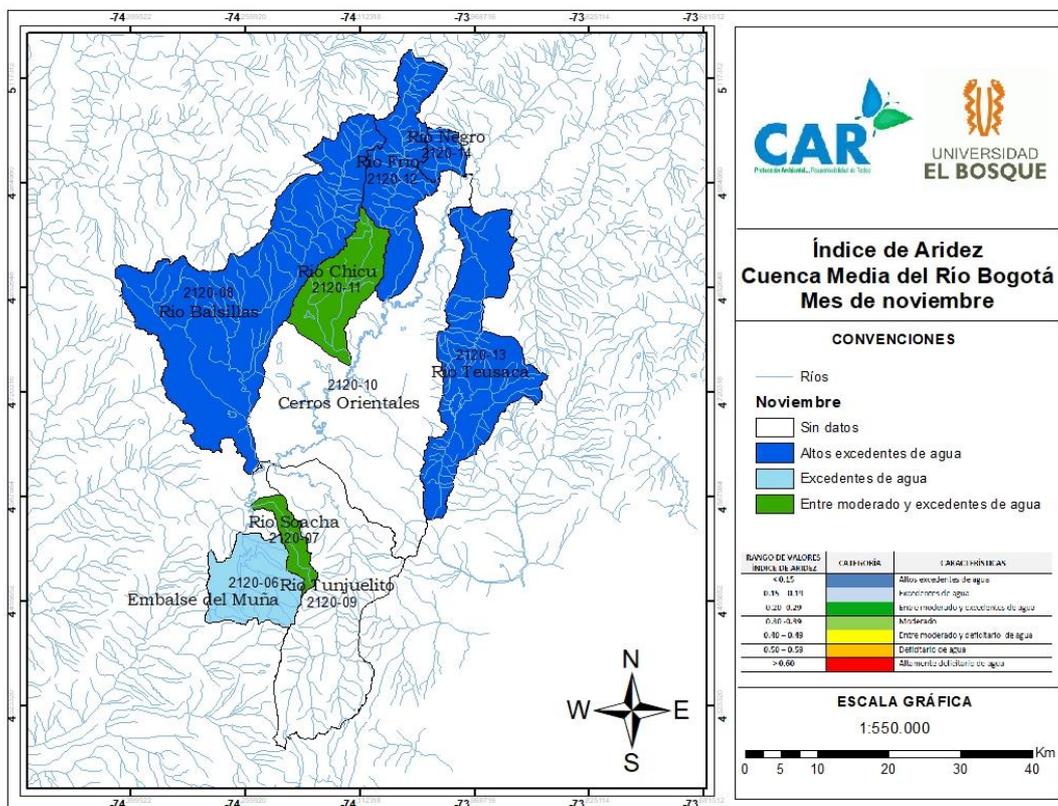
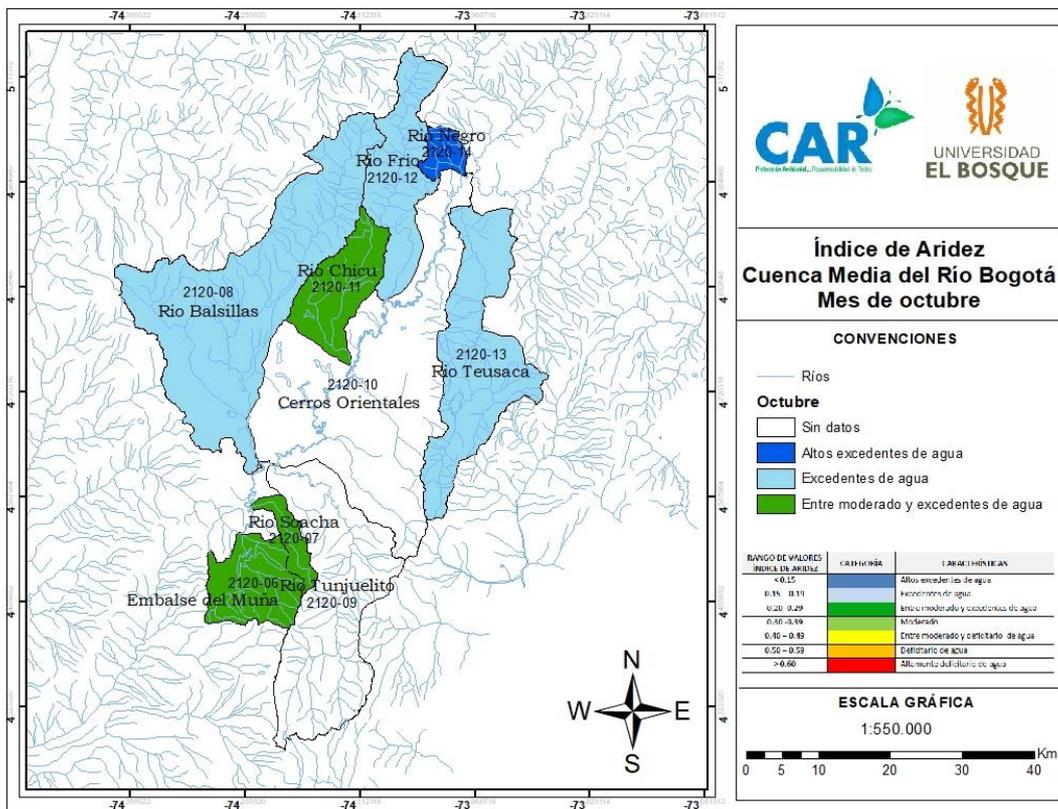


Figura 29. Índice de Aridez (octubre- noviembre) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

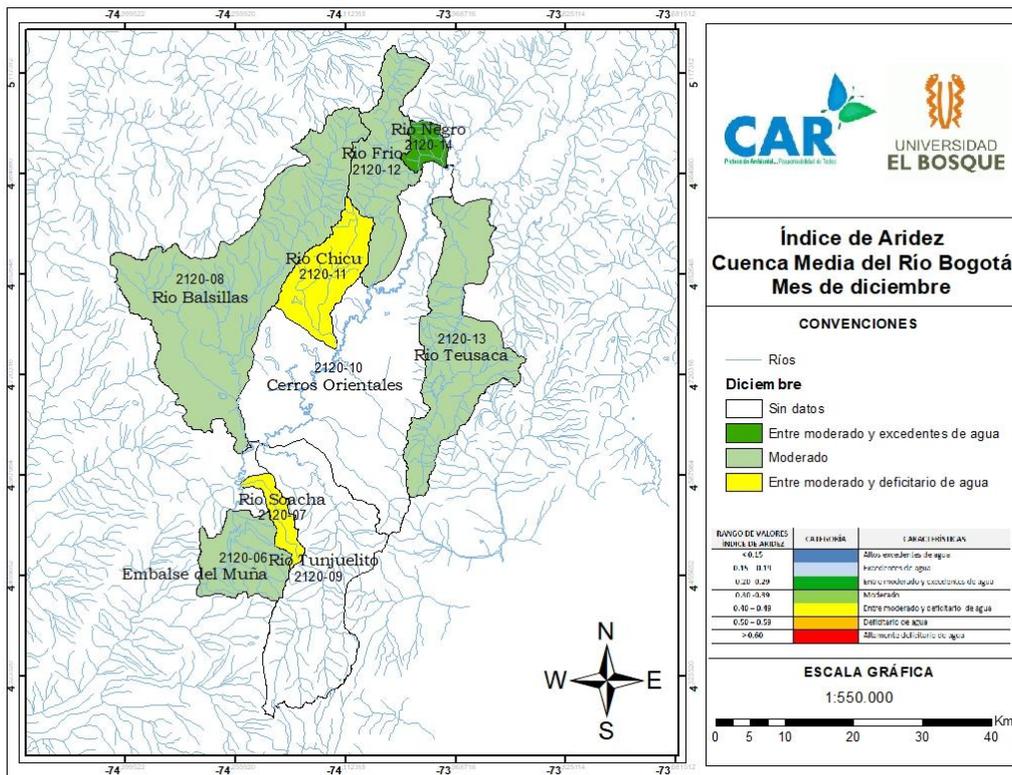


Figura 30. Índice de Aridez del mes de diciembre de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.9.3 Índice de Uso del Agua- IUA.

Para el cálculo de este indicador, se tuvo en cuenta la demanda y oferta hídrica superficial de las 7 subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá. Los datos de demanda hídrica son proporcionados por la Corporación Autónoma Regional-CAR y la oferta hídrica se determinó por la diferencia de los caudales medios mensuales de cada subcuenca con la demanda total en m³/s. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en contraste con los hallados en la ERA 2014, exceptuando a las subcuencas de Río Chicú y Río Negro por su ausencia en la ERA anterior y la subcuenca del Río Teusacá por su falta de información en la parte baja de la misma. El desarrollo de los cálculos de cada una de las subcuencas se puede encontrar en el Anexo 4.

Tabla 40. Índice de Uso del Agua Subcuenca Embalse del Muña.

Cuenca 2120-06 Embalse del Muña												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IUA	65	71	82	56	64	70	71	74	70	69	66	61
IUA 2014	49	37	29	11	12	24	27	37	26	12	18	40

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Tabla 42, la demanda sobrepasa la oferta hídrica que tiene la subcuenca para el estudio actual, lo cual difiere en gran medida del IUA calculado para el año 2014 ya que sus resultados se encuentran en un 66% con una presión alta de la demanda sobre

la oferta. Esto quiere decir, que en el transcurso de 5 años la demanda de agua de la subcuenca aumentó considerablemente.

Tabla 41. Índice de Uso del Agua Subcuenca del Río Balsillas

Cuenca 2120-08 Río Balsillas												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IUA	74	81	55	38	30	46	58	71	68	46	28	36
IUA 2014	51	44	29	25	21	35	46	46	38	16	16	36

Fuente: (Camelo,2018)

La Tabla 43, muestra que solo el 50% de los meses del año presentan la misma categoría de IUA en contraste con el IUA del 2014, sin embargo, los datos restantes confirman que el aumento de la demanda en estos 5 años ha sido inminente

Tabla 42. Índice de Uso del Agua Subcuenca Río Frío.

Cuenca 2120-12 Río Frío												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IUA	35	36	16	8	7	13	12	15	21	11	7	10
IUA 2014	99	99	70	15	11	45	54	65	77	21	8	47

Fuente: (Camelo,2018)

A simple vista, se puede afirmar que la Subcuenca del Río Frío ha tenido una mejoría (92% de los meses del año) en cuanto a usos del agua, dando a entender que la demanda del recurso ha disminuido con respecto a la oferta hídrica, generando como consecuencia una reducción de la presión sobre el recurso hídrico.

Tabla 43. Índice de Uso del Agua Subcuenca Río Soacha.

Cuenca 2120-07 Río Soacha												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IUA	115	95	83	47	53	67	90	108	88	48	69	98
IUA 2014	126	118	113	82	89	102	116	123	115	84	104	121

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede evidenciar en la Tabla 45, que la presión de la demanda sobre la oferta es muy alta en el 83% de los meses del año, sin embargo, este porcentaje representa una mejoría en comparación con el IUA del 2014, debido a que su presión sobre la oferta se presentó en el 100% de los meses del año.

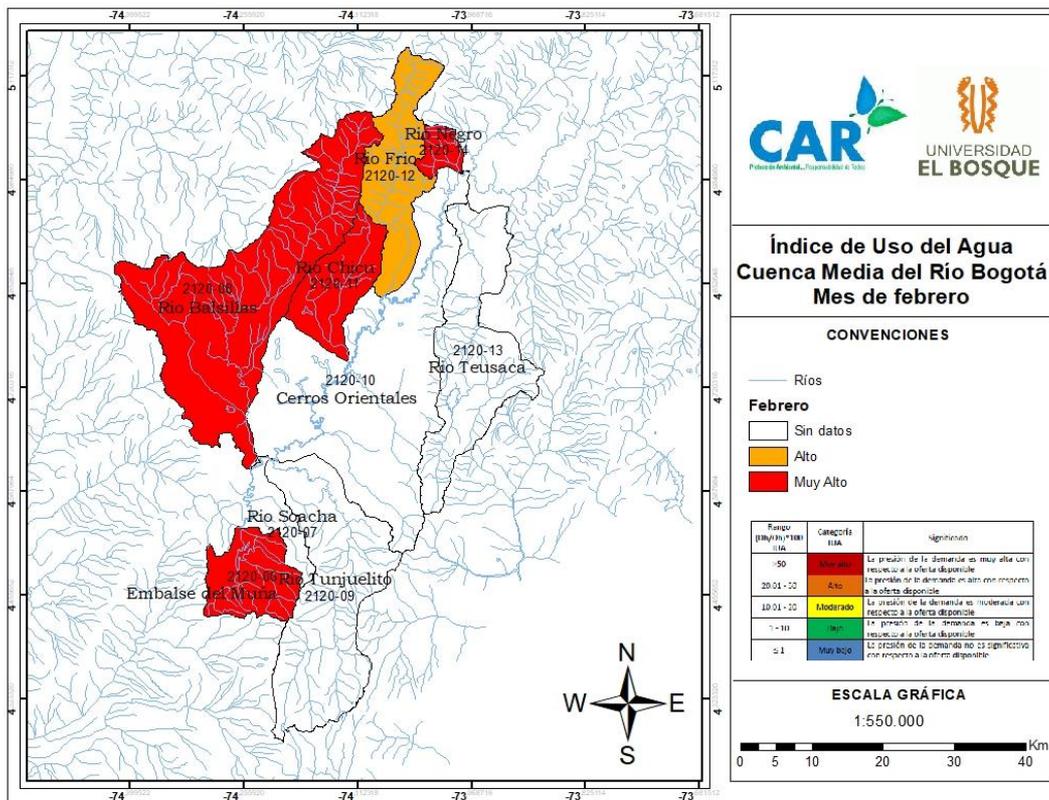
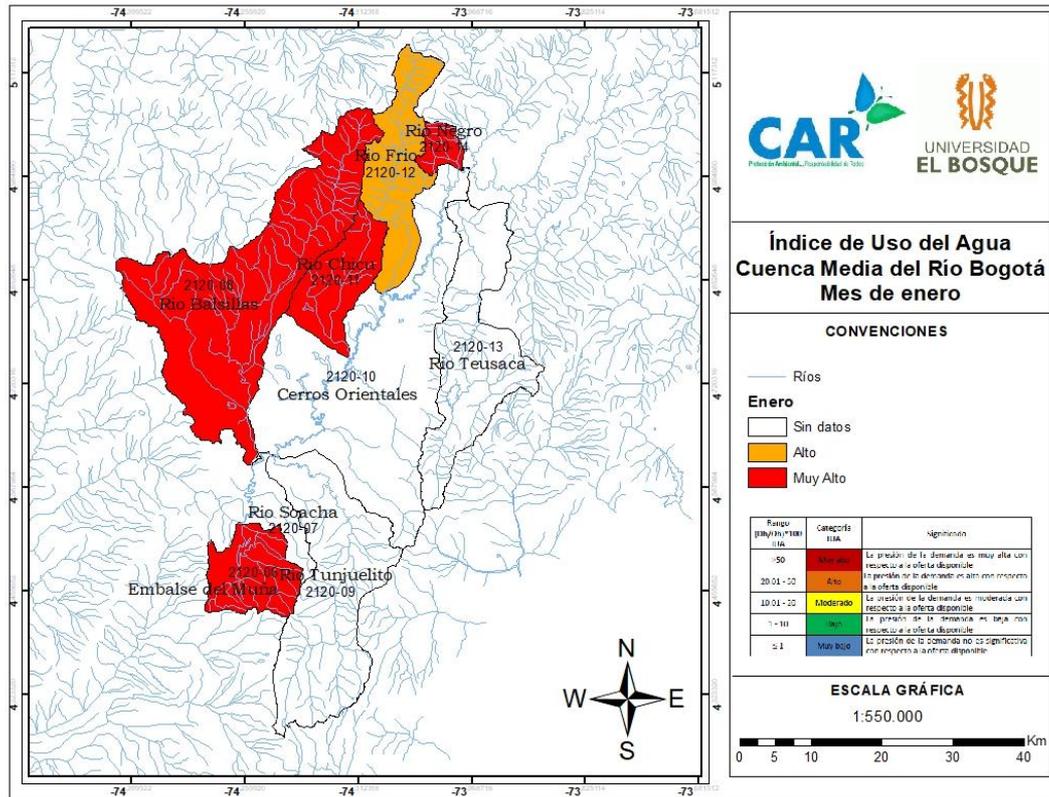


Figura 31. Índice de uso del Agua (enero-febrero) cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

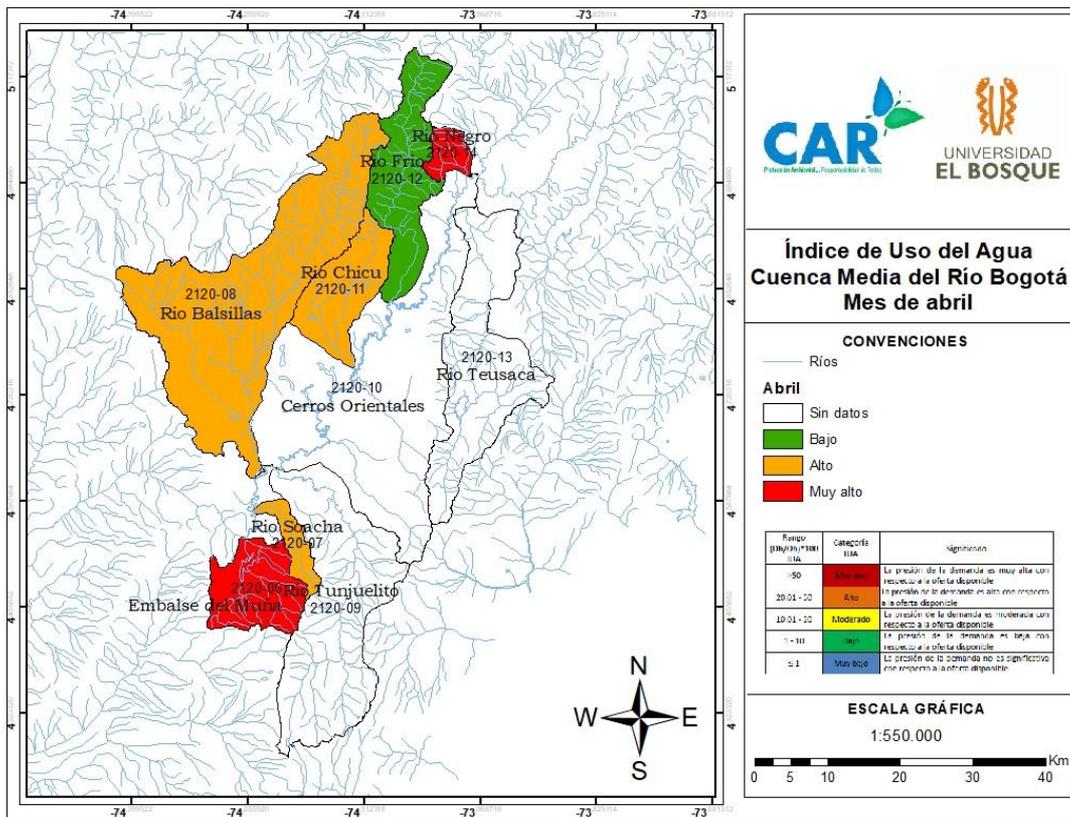
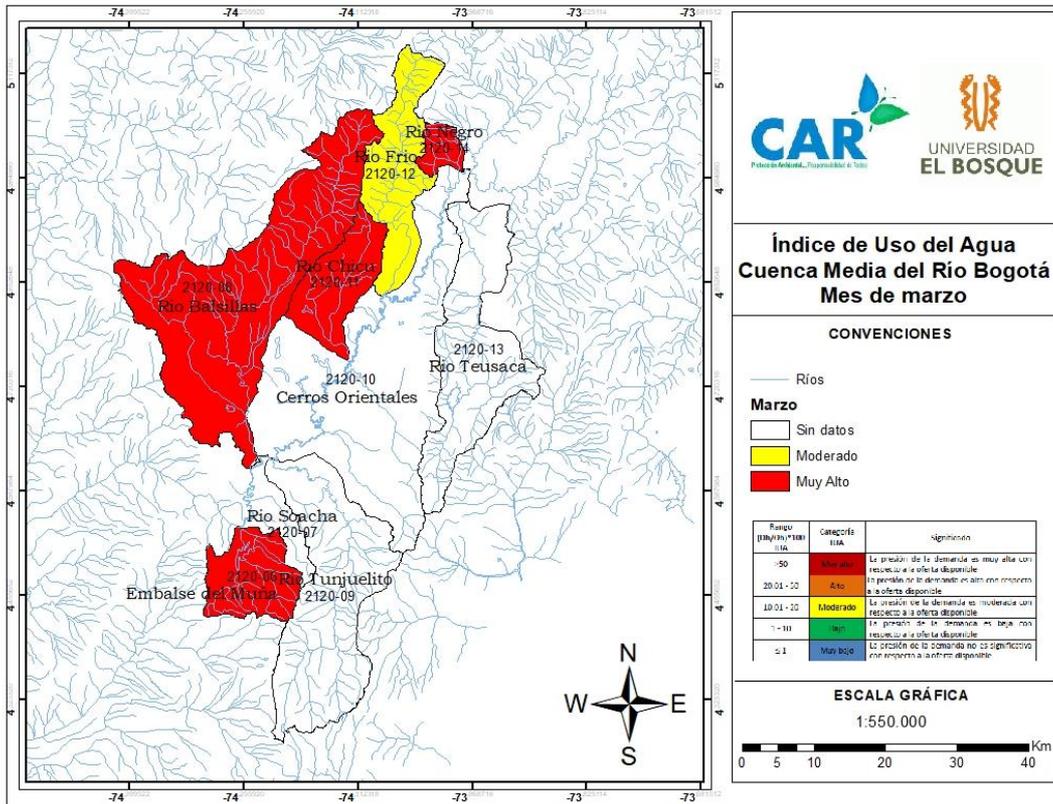


Figura 32. Índice de Uso del Agua (marzo-abril) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

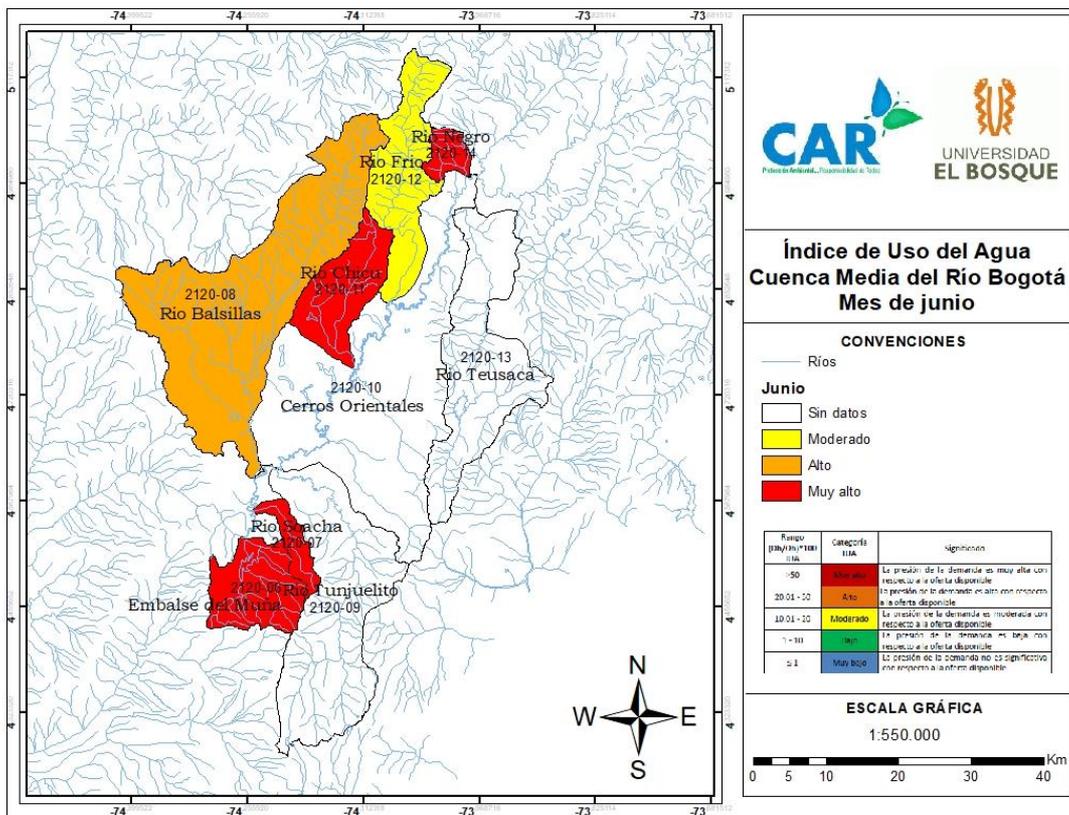
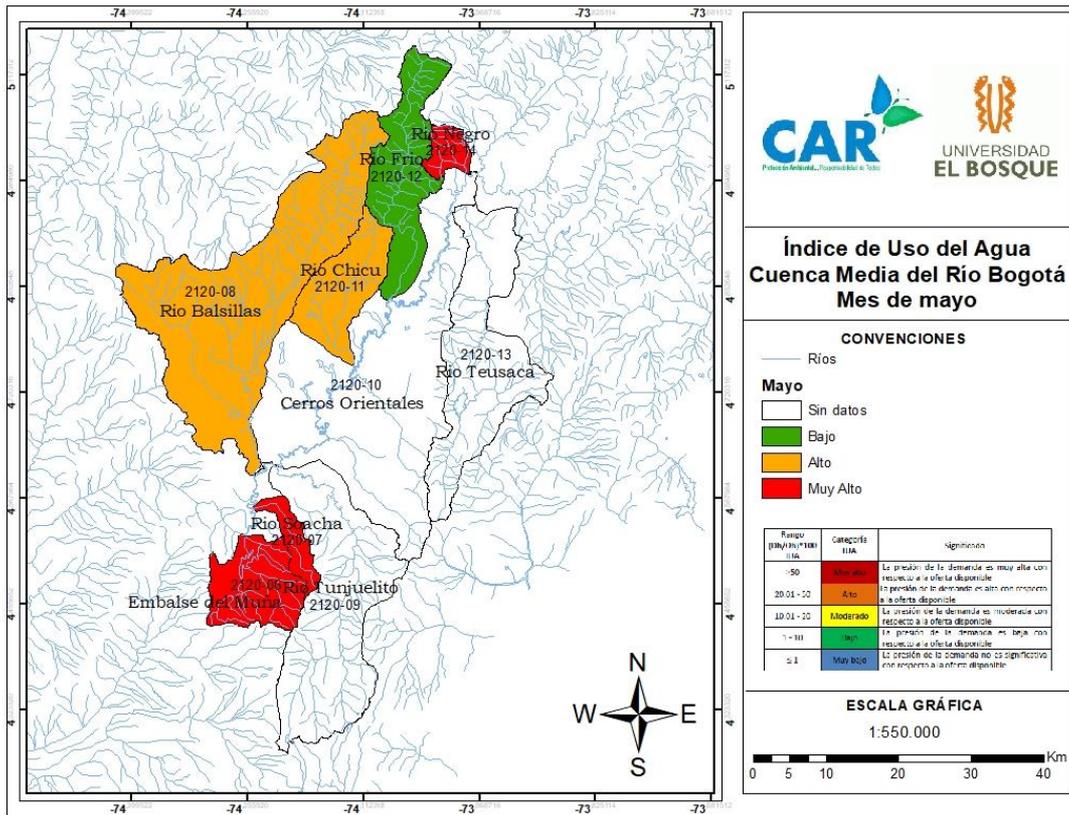


Figura 33. Índice de Uso del Agua (mayo-junio) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

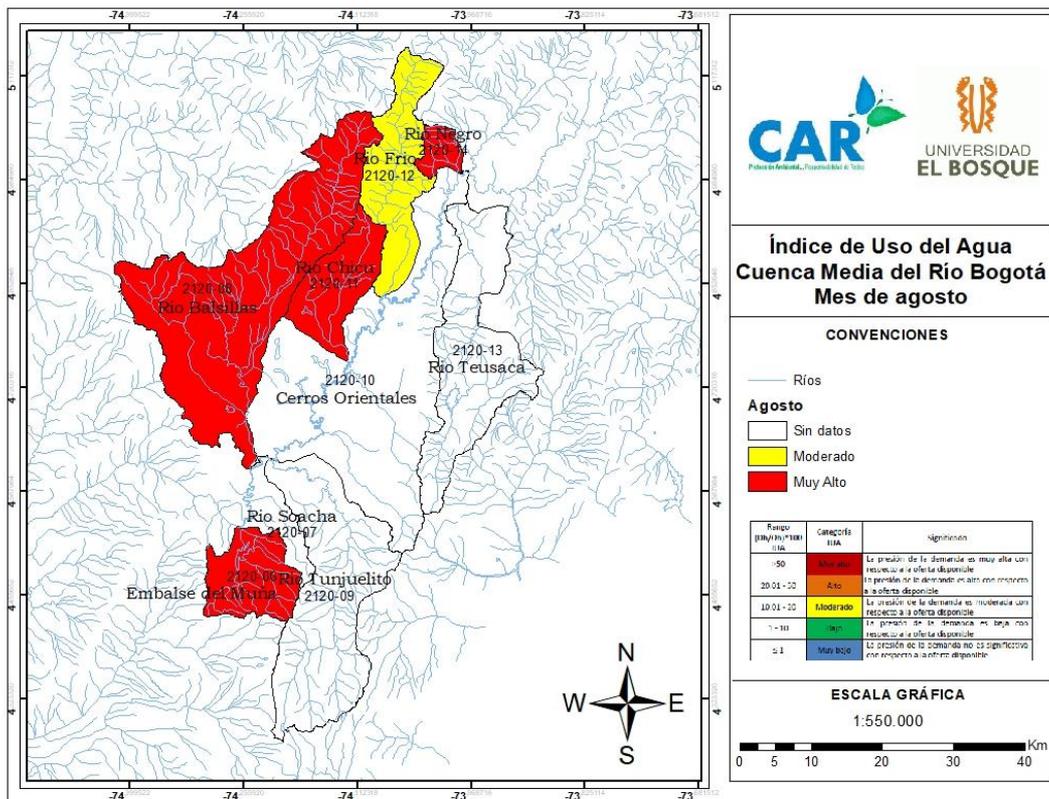
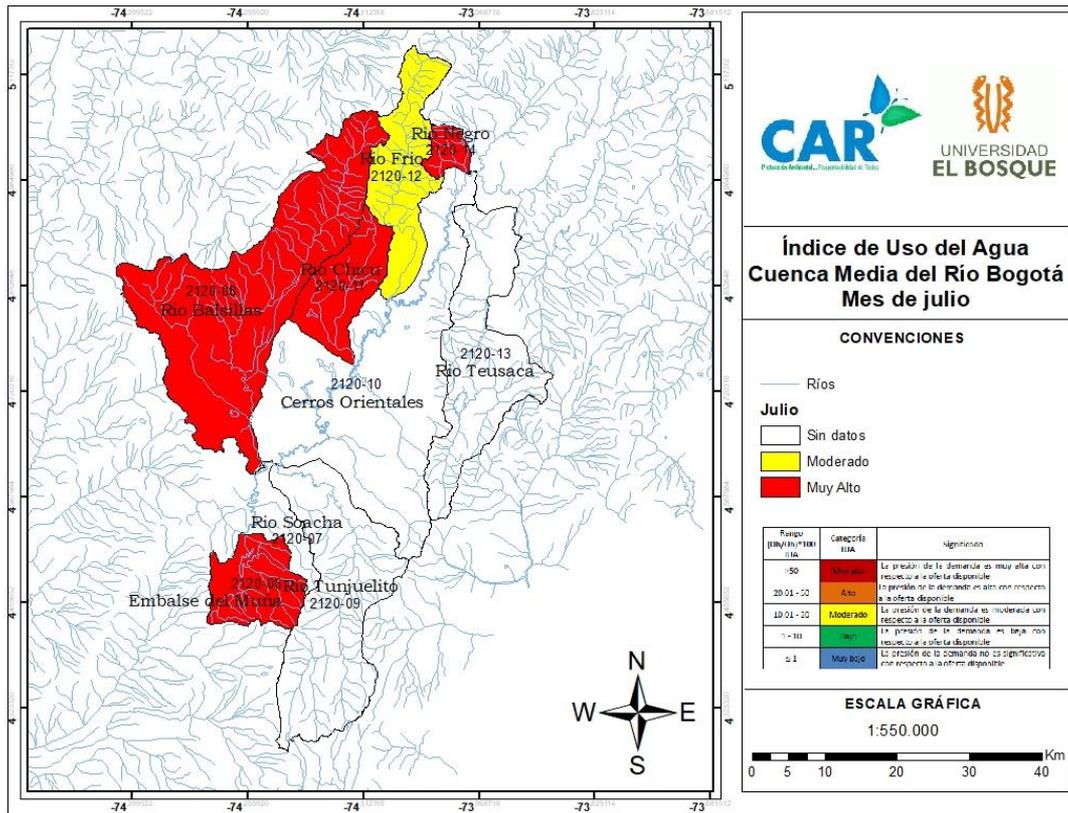


Figura 34. Índice de Uso del Agua (julio-agosto) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

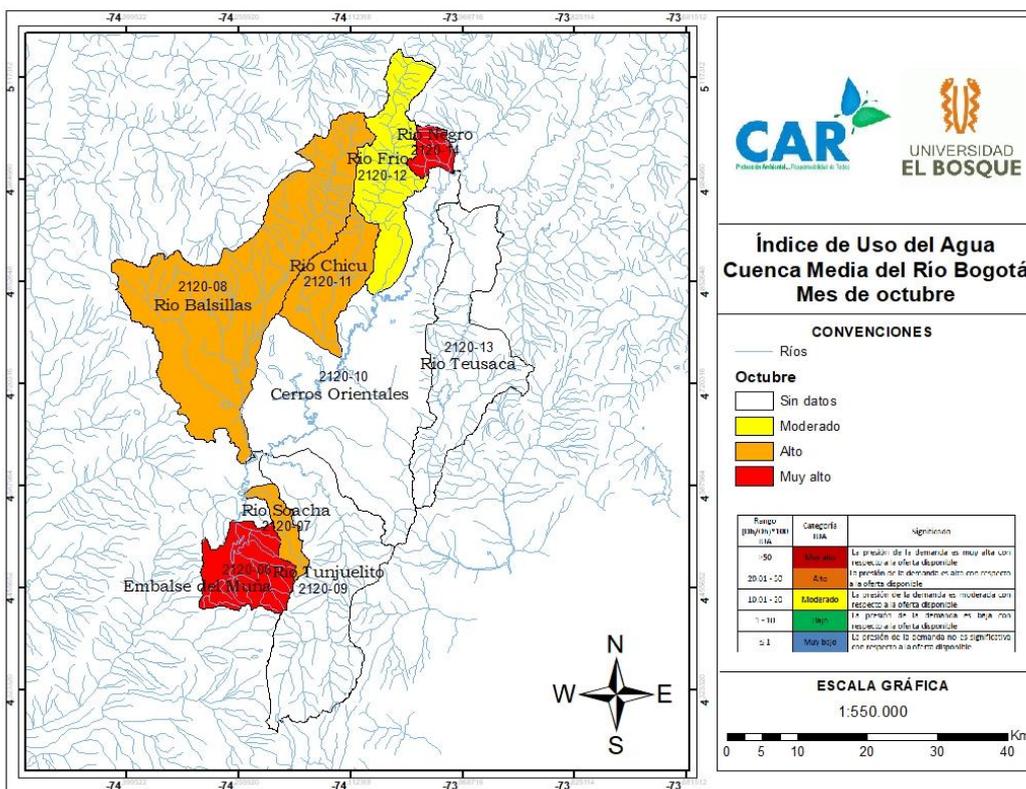
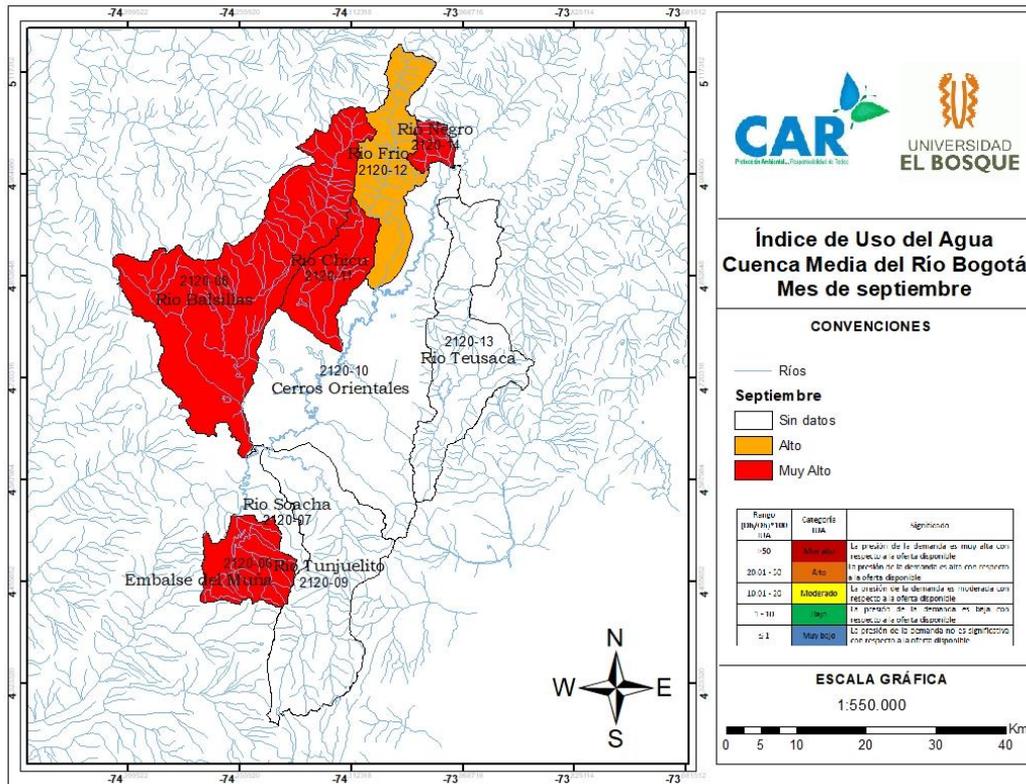


Figura 35. Índice de Uso del Agua (septiembre-octubre) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

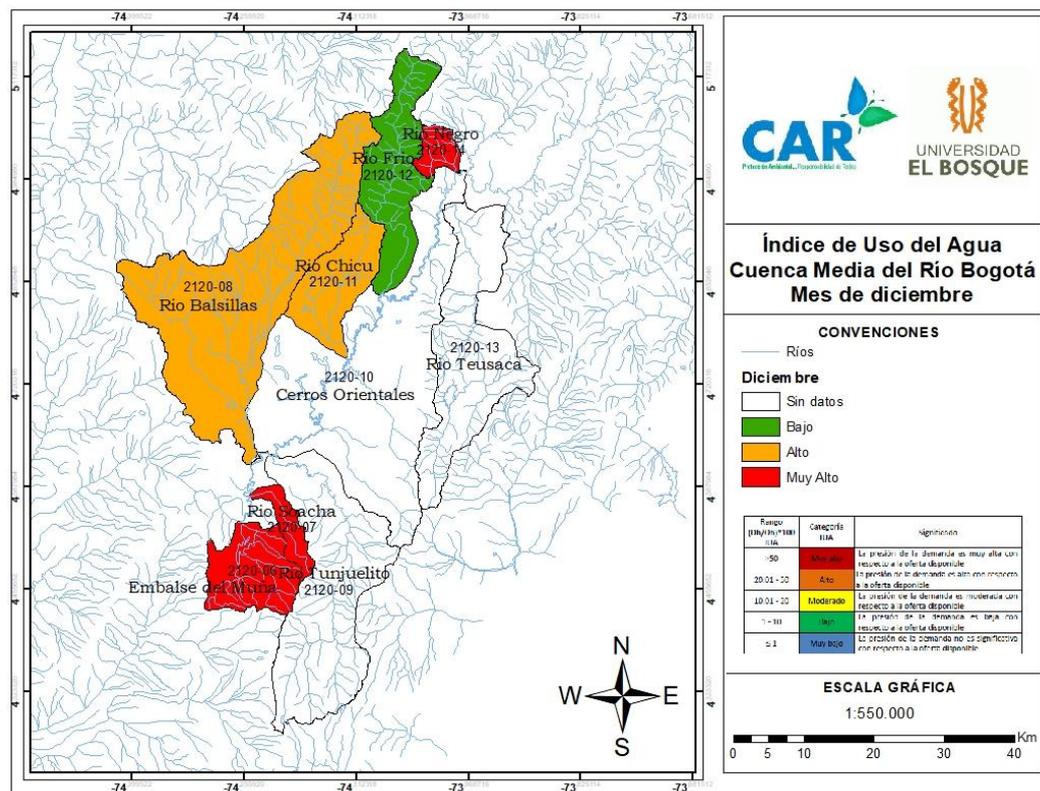
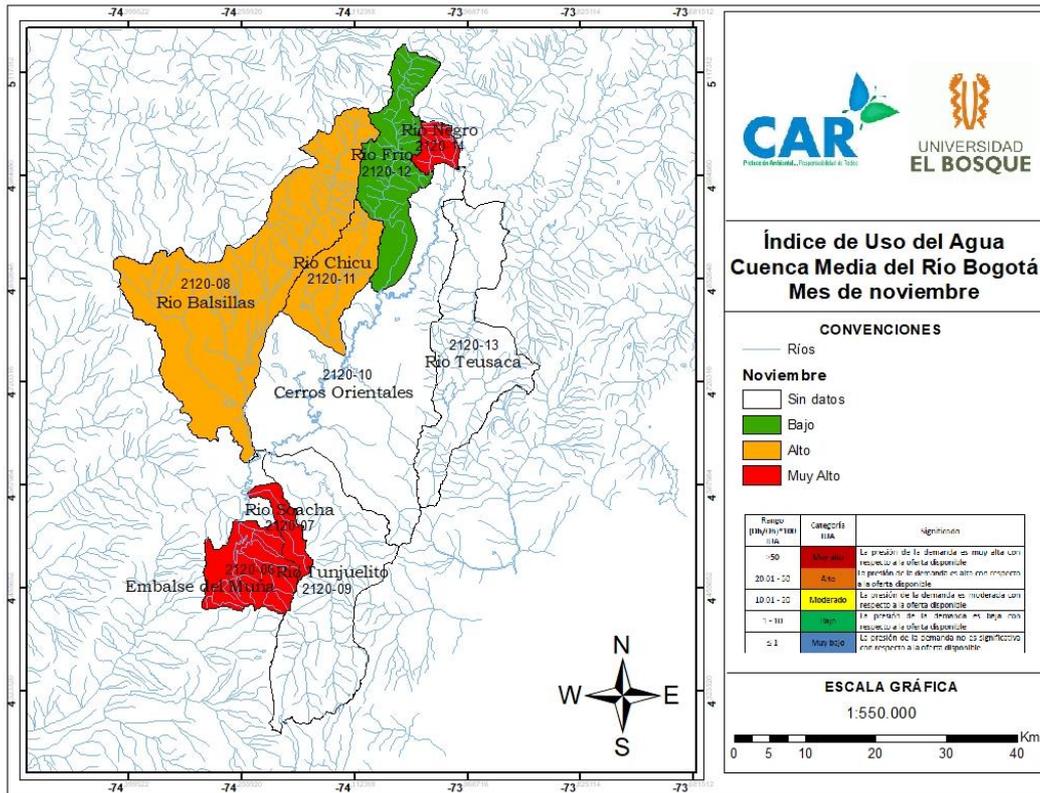


Figura 36. Índice de Uso del Agua (noviembre-diciembre) de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 44. Resumen Índice de Uso del Agua para las Subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá.

Cuenca	Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2120-06	Embalse de Muña	65	71	82	56	64	70	71	74	70	69	66	61	68
2120-07	Río Soacha	115	95	83	47	53	67	90	108	88	48	69	98	80
2120-08	Río Balsillas	74	81	55	38	30	46	58	71	68	46	28	36	52
2120-12	Río Frío	35	36	16	8	7	13	12	15	21	11	7	10	16
2120-14	Río Negro	65	71	82	56	64	70	71	74	70	69	66	61	68
2120-11	Río Chicú	66	67	58	30	42	55	61	59	56	47	36	36	51

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede decir, que la demanda en general de la cuenca Media del Río Bogotá sobrepasa a la oferta hídrica (IUA alto y muy alto), exceptuando a la subcuenca del Río Frío la cual presenta una presión entre baja y moderada en la mayoría de los meses del año. De acuerdo con el programa hidrológico internacional de la UNESCO los valores muy altos de IUA indican que la demanda supera el 40% del agua ofrecida por las subcuencas (Costa, Domínguez, Rivera, & Vanegas, 2005) y esto se ve evidenciado por la gran cantidad de asentamientos urbanos y de industrias del sector minero, agrícola y ganadero que se encuentran ubicados a la orilla del cauce y que hacen uso directo de estas aguas para su abastecimiento. Es importante recalcar que las subcuencas del Río Negro y Río Soacha son las que tienen mayor número de habitantes por unidad de superficie (2305 hab/Km² y 3120 hab/km² respectivamente) lo cual aumenta el uso de aguas por parte de las comunidades de las mismas subcuencas (CAR, 2006).

Uno de los casos que más se presenta dentro de la cuenca Media del Río Bogotá, es del crecimiento ilimitado de empresas de flores que hacen uso de éstas fuentes hídricas para riego de sus productos, como es el caso de las subcuencas del Río Balsillas, Río Teusacá y Río Frío (CAR, 2006). Además, según Costa & otros, el aumento del uso de las aguas superficiales también genera directamente un aumento en los vertimientos de aguas negras a las mismas, generando mayor deterioro en las fuentes hídricas (Costa, Domínguez, Rivera, & Vanegas, 2005).

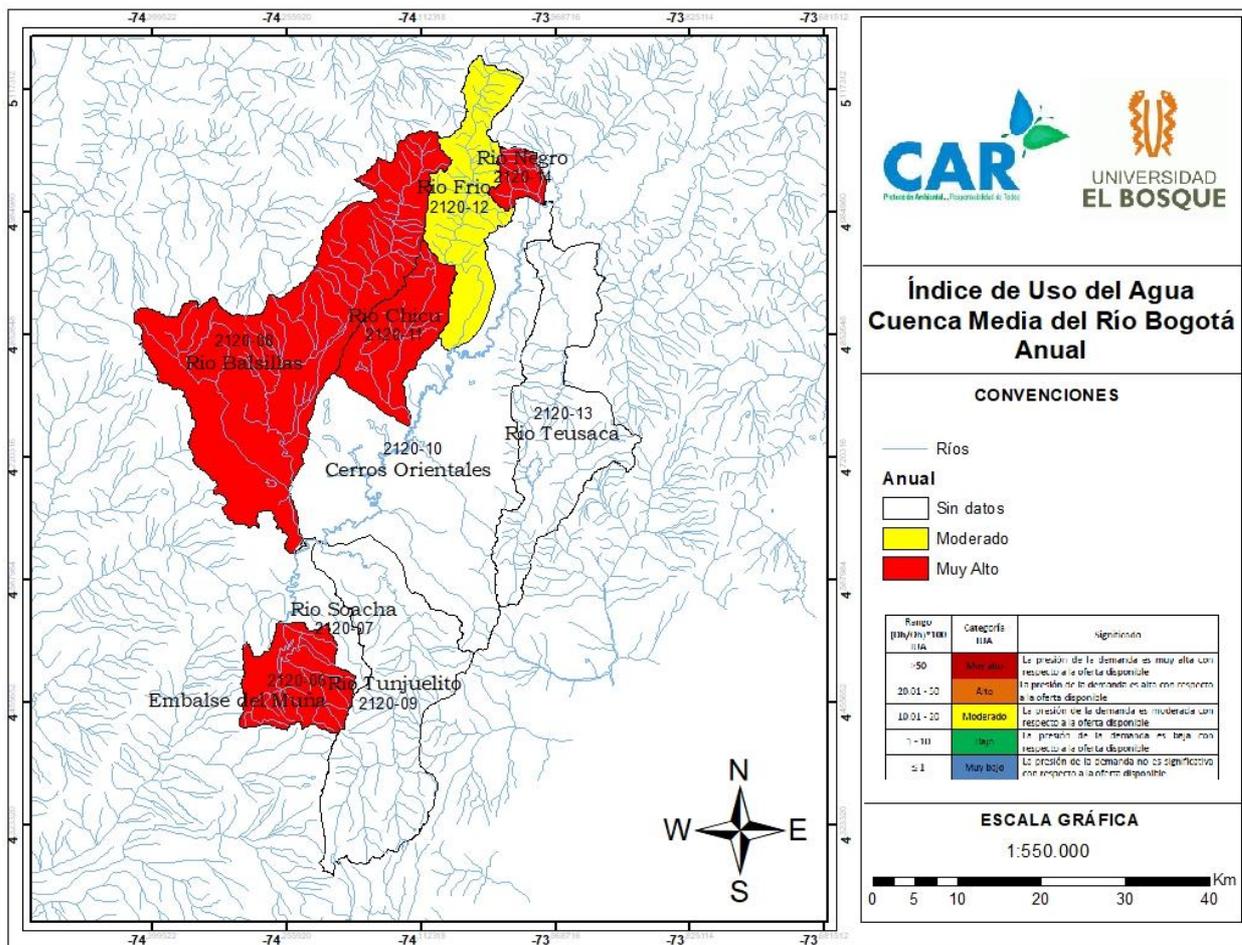


Figura 37. Índice de Uso del Agua anual de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.9.4 Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico-IVDH.

Este indicador se calculó teniendo en cuenta los resultados obtenidos del Índice de Retención y Regulación Hídrica y del Índice del uso del agua para las siete subcuencas seleccionadas de la cuenca media del Río Bogotá. A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada subcuenta en contraste con los datos encontrados en la ERA del 2014.

Tabla 45. Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico de la Cuenca Media del Río Bogotá.

CÓDIGO	SUBCUENCA	IRH	IUA	IRH (categorizado)	IUA (categorizado)	IVDH 2017	IVDH 2014
2120-06	Embalse de Muña	0,52	68	BAJO	MUY ALTO	ALTA	ALTA
2120-07	Río Soacha	0,53	80	BAJO	MUY ALTO	ALTA	ALTA
2120-14	Río Negro	0,95	68	MUY ALTO	MUY ALTO	MEDIA	-
2120-12	Río Frio	0,58	16	BAJO	MODERADO	ALTA	ALTA
2120-13	Río Teusacá alto	0,67	-	MEDIA	-	-	-

CÓDIGO	SUBCUENCA	IRH	IUA	IRH (categorizado)	IUA (categorizado)	IVDH 2017	IVDH 2014
2120-08	Río Balsillas	0,62	52	BAJO	MUY ALTO	ALTA	ALTA
2120-11	Río chicú	0,45	53	MUY BAJO	MUY ALTO	MUY ALTO	-

Fuente: (Camelo,2018)

Cómo se puede observar en la Tabla 47, las subcuencas de Río Negro, Teusacá y Chicú no presentan datos de comparación por su ausencia en la ERA del 2014 y por falta de información por parte de la zona baja del Río Teusacá. Se puede afirmar, que no hay variación en los resultados obtenidos del IVDH en las subcuencas estudiadas actualmente con las del IVDH 2014. En general, la cuenca Media del Río Bogotá presenta un IVDH alto en el 66% de las subcuencas, exceptuando a Río Negro y a Río Chicú por tener un IVDH medio y muy alto respectivamente.

Se puede decir, que la cuenca Media del Río Bogotá tiene una alta fragilidad de que en periodos de estiaje o cuando se presenten eventos como el fenómeno del niño, la oferta hídrica de la cuenca se vea comprometida y se generen problemas de abastecimiento de agua en estos períodos. La causa principal se debe al aumento de la demanda hídrica por parte de las industrias, sectores agrícolas y ganaderos y la expansión urbana que se ha asentado a la orilla de la cuenca y que sobretodo se abastece de estos cuerpos hídricos (CAR, 2006) .

De acuerdo con Huertas, “el recurso hídrico funciona en un ciclo que es constante y por tanto su oferta no puede ser incrementada”, por lo que un uso y manejo inadecuado del recurso supondría un aumento en el desabastecimiento hídrico. Además, los recursos hídricos disminuyen cuando la mayoría del agua es malgastada, principalmente por el uso de tecnologías obsoletas, sistemas de riego no calificados y, en fin, mala administración del recurso (Huertas, 2016).

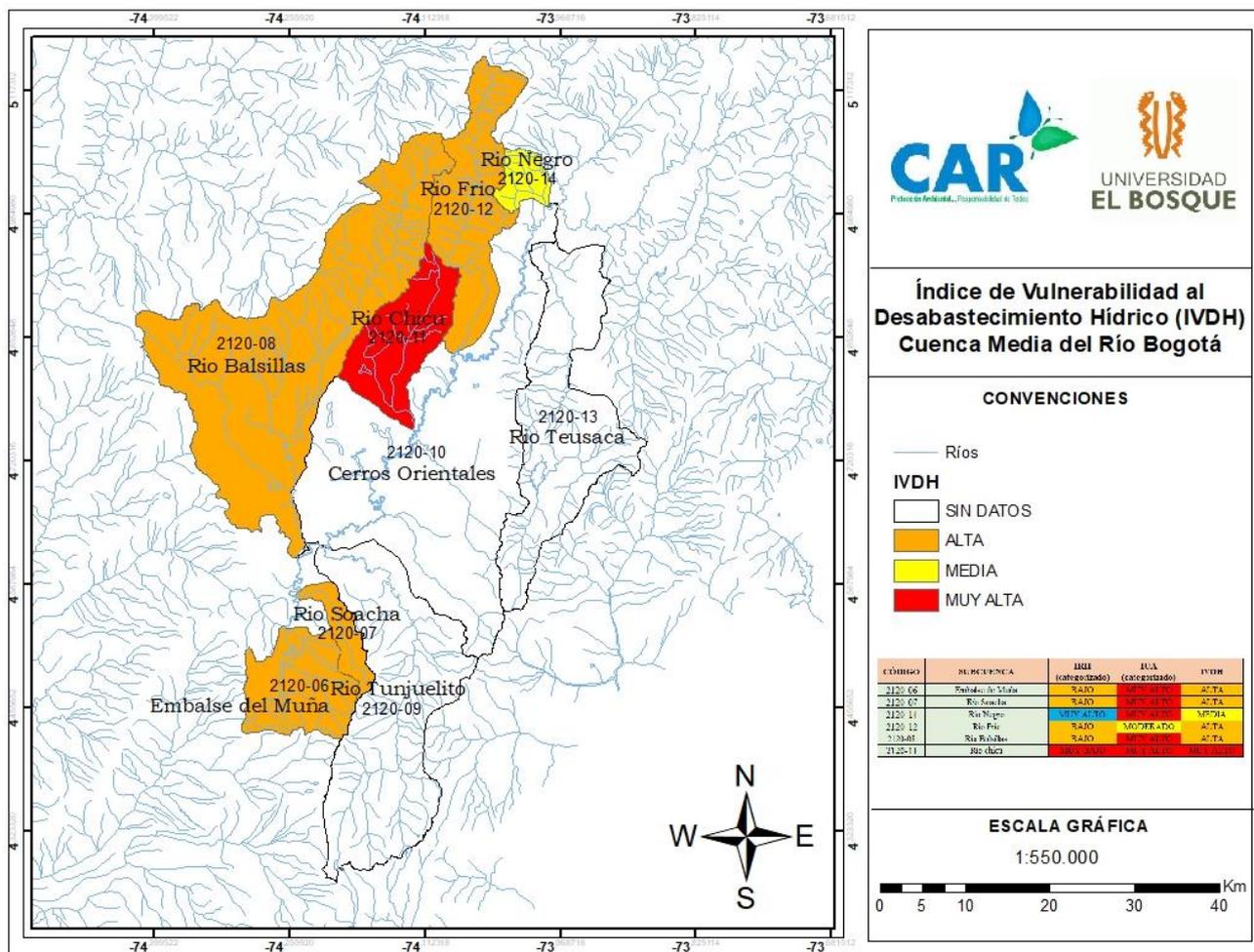


Figura 38. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico de la Cuenca Media del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.1.10 Oferta hídrica.

10.1.10.1 Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS).

Para determinar la Oferta Hídrica Total Superficial- OHTS se toman los datos obtenidos a partir del Índice de Uso del Agua - IUA a través de los caudales medios mensuales de cada una de las subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá, como se observa en la Tabla 48.

Tabla 46. Oferta Hídrica Total Superficial Cuenca Media del Río Bogotá

OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS) (m ³ /s)														
CUENCA	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-07	Río Soacha	0,417	0,482	0,534	0,866	0,770	0,638	0,500	0,434	0,509	0,850	0,624	0,470	0,59
2120-08	Río Balsillas	1,948	1,787	2,371	3,104	3,751	2,728	2,285	1,952	1,955	2,618	4,203	3,424	2,68
2120-12	Río Frío	0,983	0,941	1,795	3,265	3,666	2,167	2,329	1,949	1,391	2,328	3,837	3,007	2,30

OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS) (m ³ /s)														
CUENCA	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-06	Embalse de Muña	0,261	0,219	0,281	0,426	0,434	0,340	0,232	0,232	0,221	0,268	0,459	0,357	0,31
2120-14	Río Negro	0,445	0,414	0,372	0,501	0,448	0,421	0,415	0,399	0,420	0,423	0,439	0,466	0,43
2120-11	Río Chicú	0,453	0,435	0,487	0,794	0,596	0,496	0,467	0,481	0,475	0,529	0,742	0,724	0,56
2120-13	Río Teusacá	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Tabla 48, la subcuenca del Río Teusacá no cuenta con OHTS, debido a la falta de datos presentes en el Índice de Uso del Agua.

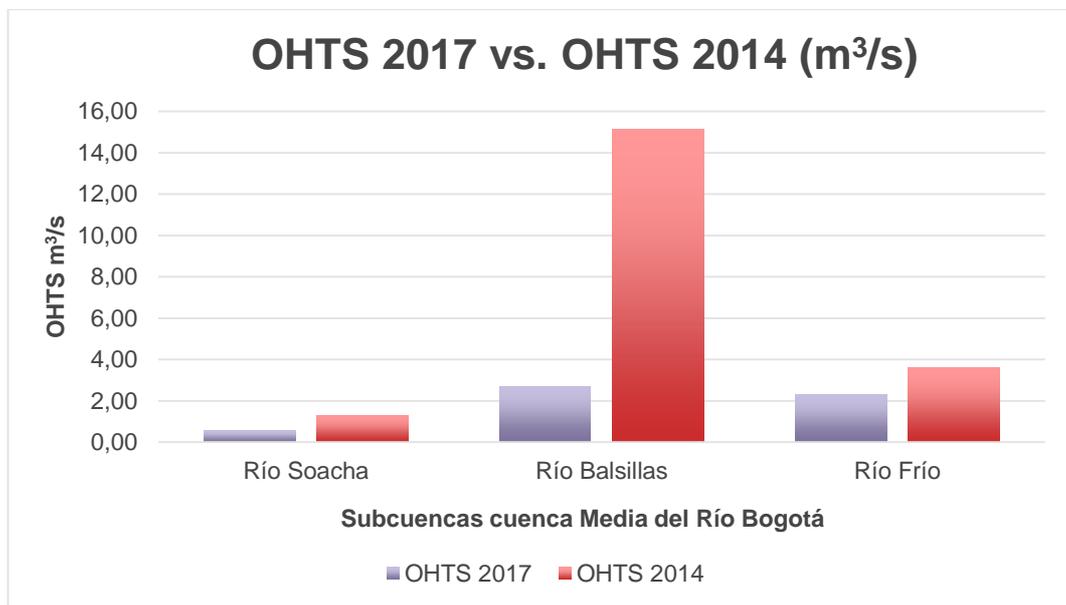


Figura 39. Oferta Hídrica Total Superficial 2017 vs 2014.

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Figura 39, la OHTS para el año 2017 disminuyó un 54.61 %, 82.3% y un 36.5% para la subcuencas del Río Soacha, Río Balsillas y Río Frío respectivamente, dando a entender, que ha disminuido la cantidad del agua superficial que permite la conformación y aumento del nivel de fuentes hídricas.

10.1.10.2 Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD).

Para determinar la Oferta Hídrica Total Disponible – OHTD, se tiene en cuenta los resultados obtenidos de la OHTS de las cada una de las subcuencas y se le resta el caudal ambiental al 25% del mes con menor OHTS. A continuación, se muestra el resultado (Tabla 49).

Tabla 47. Oferta Hídrica Total Disponible Cuenca Media del Río Bogotá.

OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) (m ³ /s)														
CUENCA	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-07	Río Soacha	0,313	0,378	0,43	0,761	0,665	0,534	0,395	0,329	0,405	0,746	0,52	0,366	0,49
2120-08	Río Balsillas	1,502	1,34	1,925	2,657	3,304	2,281	1,838	1,505	1,509	2,172	3,756	2,977	2,23
2120-12	Río Frio	0,748	0,705	1,559	3,03	3,431	1,931	2,094	1,714	1,156	2,093	3,602	2,772	2,07
2120-06	Embalse de Muña	0,206	0,164	0,226	0,371	0,38	0,286	0,178	0,178	0,166	0,214	0,405	0,303	0,26
2120-14	Río Negro	0,352	0,321	0,279	0,408	0,355	0,328	0,322	0,306	0,327	0,33	0,346	0,373	0,34
2120-11	Río Chicú	0,349	0,331	0,383	0,69	0,492	0,392	0,362	0,377	0,371	0,424	0,638	0,619	0,45
2120-13	Río Teusacá	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Camelo,2018)

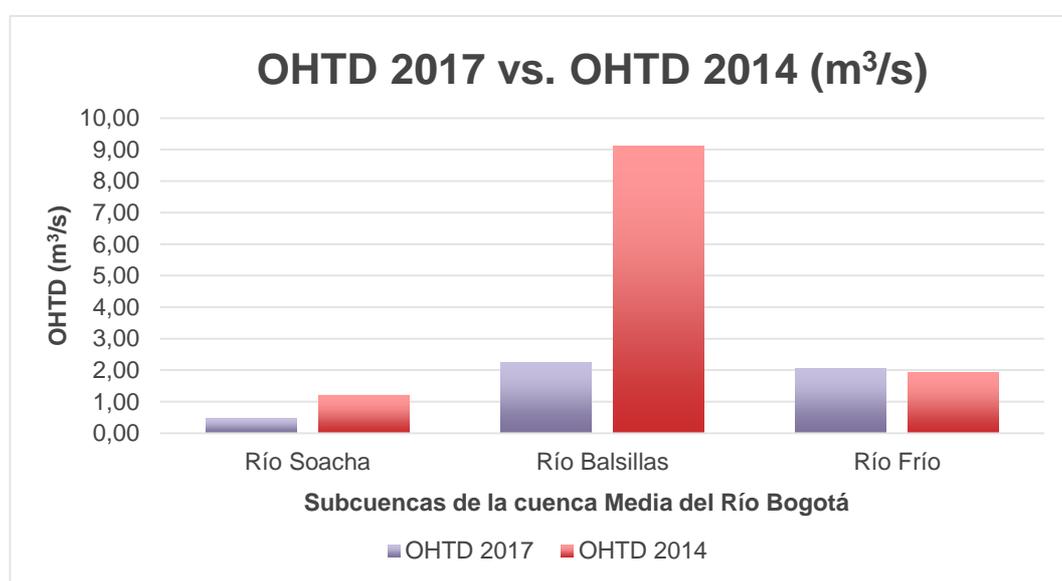


Figura 40. Oferta Hídrica Total Disponible del 2017 vs. 2014.

Fuente: (Camelo,2018)

En términos generales, la cuenca Media del Río Bogotá ha disminuido su oferta disponible para el año 2017 en comparación con el año 2014 (Figura 40), esto quiere decir que la disponibilidad del recurso para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, los sectores industriales y domésticos es escasa, lo cual puede estar asociada a la gran demanda de agua que éstos requieren y por lo cual, la oferta no puede abastecerlas.

10.1.10.3 Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD).

Para la estimación de la Oferta Hídrica Regional Disponible – OHRD, se suma la OHTD y el caudal de retorno, el cual, se estima a partir del 70% de la demanda doméstica. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 50.

Tabla 48. Oferta Hídrica Regional Disponible Cuenca Media del Río Bogotá.

OFERTA HÍDRICA REGIONAL DISPONIBLE (OHRD) (m ³ /s)														
CUENCA	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-07	Río Soacha	0,51	0,58	0,63	0,96	0,86	0,73	0,59	0,53	0,60	0,95	0,72	0,57	0,69
2120-08	Río Balsillas	1,76	1,60	2,18	2,91	3,56	2,54	2,10	1,76	1,77	2,43	4,01	3,23	2,49
2120-12	Río Frío	0,85	0,80	1,66	3,13	3,53	2,03	2,19	1,81	1,25	2,19	3,70	2,87	2,17
2120-06	Embalse de Muña	0,25	0,20	0,27	0,41	0,42	0,33	0,22	0,22	0,21	0,25	0,45	0,34	0,30
2120-14	Río Negro	0,49	0,46	0,42	0,55	0,49	0,47	0,46	0,45	0,47	0,47	0,49	0,51	0,48
2120-11	Río Chicú	0,39	0,37	0,42	0,73	0,53	0,43	0,40	0,41	0,41	0,46	0,68	0,66	0,49
2120-13	Río Teusacá	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Camelo,2018)

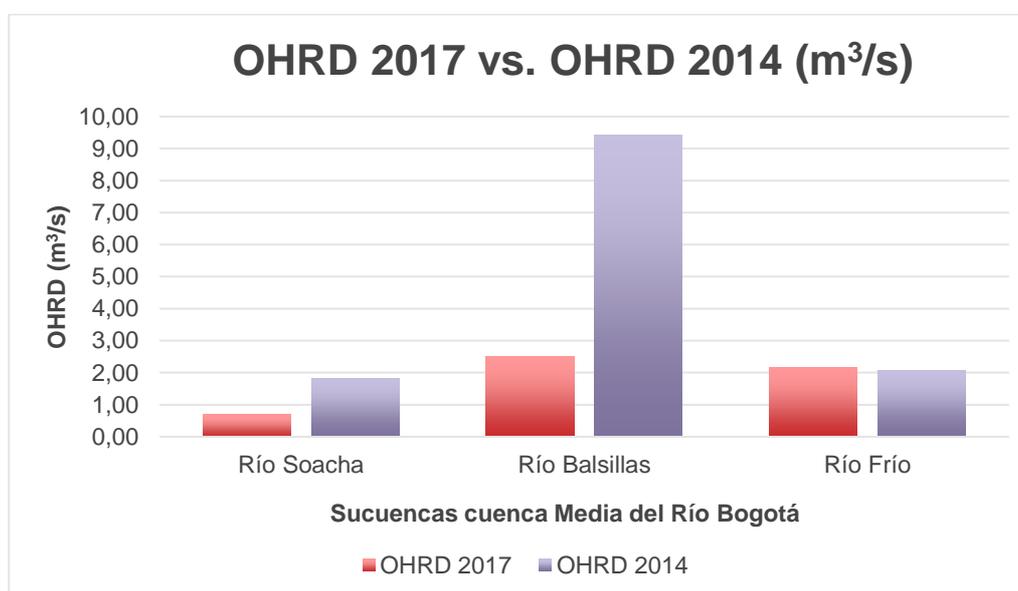


Figura 41. Oferta Hídrica Regional Disponible 2017 vs. 2014.

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Figura 41, la cuenca Media del Río Bogotá ha presentado una disminución de la oferta, este valor es el que es usado para la determinación del Índice de Uso de Agua (IUA), por lo que está relacionado directamente con el resultado de este índice. En pocas palabras, la oferta hídrica regional se ve afectada por todos los caudales de retorno que son usados para diferentes actividades, por lo que el aumento de la demanda de éstas disminuye considerablemente la oferta hídrica.

10.1.10.4 Oferta Hídrica Total Aprovechable (OHTA).

Para el cálculo de la Oferta Hídrica Total Aprovechable se toma el volumen de agua promedio que se midió en la estación hidrométrica de referencia y el caudal ambiental, como se muestra a continuación:

Ecuación 19. Oferta Hídrica Total Aprovechable

$$OHTA = Q_{est} - Q_{amb}$$

Donde:

Q_{est} : Caudal medio de la estación representativa

Q_{amb} : Caudal Ambiental

En la Tabla 51, se presenta la Oferta Hídrica Total Aprovechable – OHTA para cada una de las subcuencas de la cuenca media del Río Bogotá.

Tabla 49. Oferta Hídrica Total Aprovechable Cuenca Media del Río Bogotá.

OFERTA HÍDRICA TOTAL APROVECHABLE (OHTA) (m ³ /s)					
CUENCA	Nombre	ESTACION	Q _{estación} (m ³ /s)	Q _{amb} (m ³ /s)	OHTA
2120-07	Río Soacha	MODELO	0,23	0,040	0,19
2120-08	Río Balsillas	EL BOSQUE Y EL RECREO	1,63	0,565	1,06
2120-12	Río Frio	PTE CACIQUE	2,05	0,771	1,28
2120-06	Embalse de Muña	VILLABLANCA	0,19	0,034	0,15
2120-14	Río Negro	MODELO	0,20	0,182	0,02
2120-11	Río Chicú	LA MERCEDES	0,34	0,039	0,30
2120-13	Río Teusacá alto	PUENTE FRANCIS	0,84	0,352	0,49

Fuente: (Camelo,2018)

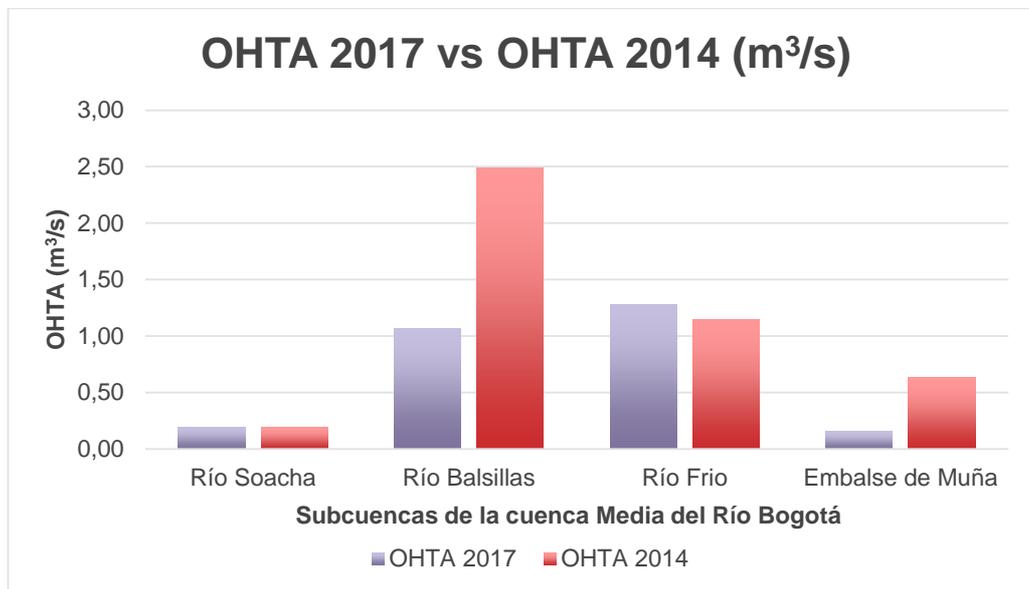


Figura 42. Oferta Hídrica Total Aprovechable 2017 vs 2014.

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con la Figura 42, se puede afirmar que la OHTA se mantuvo estable en las subcuencas de Río Soacha y Río frío, mientras que las subcuencas de Río Balsillas y Embalse de Muña presentaron una disminución del 57 y 76% respectivamente en la oferta aprovechable en relación con la oferta hídrica aprovechable del año 2014.

Para ver los cálculos realizados para la determinación de la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS), Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD), Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD) y la Oferta Hídrica Total Aprovechable (OHTA), remitirse al Anexo 5.

10.2 Cuenca Baja del Río Bogotá

10.2.1 Características morfológicas y fisiográficas de la subcuencas de tercer orden de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

La cuenca Baja del Río Bogotá se encuentra dividida en 5 subcuencas de tercer orden las cuales se les determinó su morfometría como se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 52).

Tabla 50. Morfometría de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Código cuenca	2120-01	2120-02	2120-03	2120-04	2120-05
Cuenca	Rio Bajo Bogotá	Rio Apulo	Rio Calandaima	Rio Medio Bogotá	Rio Bogotá (Sector Salto – Soacha)
Área (km ²)	554,04	484,50	268,23	317,46	107,39
Perímetro (km)	125,52	118,00	74,85	106,76	72,68
Longitud cuenca (km)	34,05	42,22	24,69	37,57	14,45
Longitud cauce principal (km)	50,17	53,88	29,71	47,30	26,62
Ancho de la cuenca km	17,99	11,87	20,38	12,63	9,49
Altura media cuenca (msnm)	470,52	1382,51	1216,97	1468,40	2626,37
Pendiente media cuenca (%)	19,53	30,11	28,33	30,80	18,31
Drenaje total km	1826,31	1323,62	672,46	702,92	204,71
Factor de forma	0,22	0,17	0,30	0,14	0,15
Índice de Gravelius o compacidad	1,49	1,50	1,28	1,68	1,96
Pendiente cauce	0,04	0,02	0,05	0,02	0,46
Densidad de drenaje (mm)	3,30	2,73	2,51	2,21	1,91
Sinuosidad	1,49	1,42	1,63	1,39	2,20
Tiempo de concentración (horas)	21,49	25,68	11,64	18,78	19,06

Fuente: (Robayo, 2017)

De acuerdo con Gaspari y otros (2012), la forma de las subcuencas es muy alargada debido a que su factor de forma es menor a 1, esto quiere decir que la probabilidad de ocurrencia de crecientes disminuye porque se reduce la acumulación de aguas (Gaspari , y otros, 2012), lo cual, está relacionado directamente con el valor del tiempo de concentración que para estas subcuencas es bastante lento, disminuyendo la aglomeración de aguas superficiales (Delgado & Moreno, 2008).

Según Posada (2007), la pendiente media de la cuenca Baja del Río Bogotá se encuentra entre accidentada (12-20%) y fuerte (20-35%), lo cual tiene una relación directa con la velocidad de escorrentía superficial, ya que entre mayor sea la pendiente, mayores pueden ser los picos de crecientes y asimismo una afectación directa con la capacidad de erosión. Además, puede aumentar el arrastre de sedimentos lo que conllevaría a un aumento en la turbidez del agua y en pocas palabras al cambio de las características físicoquímicas y biológicas de la misma (Posada, 2007).

La densidad de drenaje expresada en Km/Km² se caracteriza por ser alta para la mayoría de las subcuencas y muy alta para la subcuenca de Río Bajo Bogotá, esto quiere decir que las subcuencas tienen un mejor drenaje para cuando se presenten condiciones climáticas superiores a las normales, disminuyendo directamente la infiltración y percolación de aguas superficiales a fuentes subterráneas como los acuíferos (Delgado & Moreno, 2008)

Según Senciales (1995), el tipo de canal de la mayoría de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá, de acuerdo con los datos de sinuosidad son de tipo transicional (1,2-1,5) y regular (1,5-1,7), lo que quiere decir, que las subcuencas se encuentran ubicadas en áreas de montaña donde la longitud del valle y del cauce son similares, disminuyendo así, la generación de meandros (Senciales, 1995). Sin embargo, para la subcuenca Río Bogotá (Sector Salto-Soacha) el tipo de canal es tortuoso (> 2,1), lo que puede indicar que la zona tiene una red de fallas que modifican el cauce del cuerpo hídrico, generando así mayor cantidad de meandros.

10.2.2 Red de estaciones hidrometeorológicas.

De acuerdo con el catálogo de la red hidrometeorológica del IDEAM, se encuentra un total de 21 estaciones de la CAR e IDEAM, las cuales, conforman la cuenca Baja del Río Bogotá y se pueden observar en la Tabla 53.

Tabla 51. Estaciones hidrometeorológicas de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Código	Nombre	Fuente	Categoría	Latitud	Longitud	Altitud
2120166	FUTE	CAR	PM	4,597556	-74,28181	2607
2120177	ANCLAJE 14	CAR	PG	4,593139	-74,42444	1110
2120179	ARGENTINA	CAR	PG	4,757778	-74,52556	1150
2120180	SAN GREGORIO	CAR	PG	4,673833	-74,49886	1050
2120182	PEÑAS BLANCAS	CAR	PG	4,563417	-74,37836	2450
2120183	DARÍO VALENCIA	CAR	PM	4,598750	-74,43606	790
2120190	COL FRANCISCO JOSE DE CALDAS	CAR	CO	4,442694	-74,51758	400
2120637	VIOLETAS LAS	CAR	CO	4,378111	-74,68806	400
2120639	MESA LA	CAR	CP	4,624611	-74,48178	1300

Código	Nombre	Fuente	Categoría	Latitud	Longitud	Altitud
2120640	VICTORIA LA	CAR	CO	4,466222	-74,60894	380
2120641	ESC SAMPER MADRID	CAR	CP	4,473167	-74,53572	550
2120644	ARGELIA	CAR	CP	4,358139	-74,75181	320
2120646	MESITAS	CAR	CP	4,578806	-74,43903	1100
2120647	ESPERANZA LA	CAR	CP	4,706111	-74,43128	1240
2120652	PALOQUEMAO	CAR	CO	4,729750	-74,40653	2450
21201090	VIOTÁ	IDEAM	PM	4,44269444	-74,54225	567
21202160	HIDROPARAISO	IDEAM	PM	4,57316667	-74,4048333	1600
21205660	MERCEDES LAS	IDEAM	CO	4,58188889	-74,5266111	810
21205670	FLORIDA LA	IDEAM	CO	4,770889	-74,437639	1915
21206180	PRIMAVERA D MATIMA	IDEAM	CO	4,805500	-74,443472	1850
21206280	ACAPULCO	IDEAM	CO	4,653833	-74,333056	2650

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Figura 43, la red de estaciones hidrometeorológicas es escasa en la Cuenca Baja del Río Bogotá, teniendo como resultado un ineficiente estudio de oferta hídrica superficial por la ausencia de información en cada una de las subcuencas que conforman la Cuenca Baja. Además, se puede notar que las subcuencas de Río Medio Bogotá y Río Bogotá (sector Salto – Soacha) son las que menos cuentan con estaciones hidrometeorológicas, por lo que en el desarrollo del trabajo no se pudieron cuantificar algunos indicadores hidrológicos superficiales.

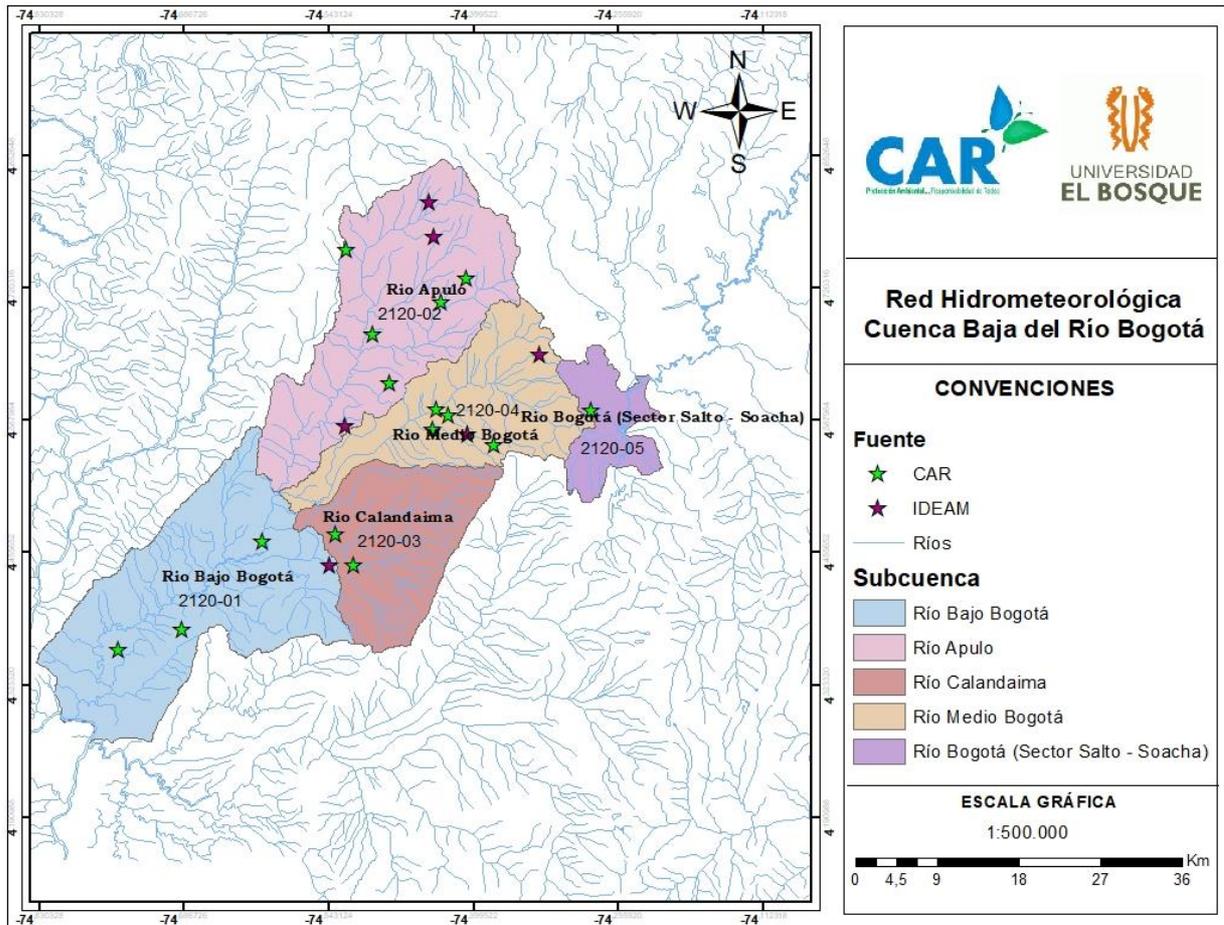


Figura 43. Red hidrometeorológica de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.3 Precipitación.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las estaciones presentadas anteriormente tienen dificultades por períodos muertos de información en las series históricas, se hace necesario recurrir a métodos estadísticos para complementar y analizar la consistencia de las mismas. Sin embargo, las series de precipitación ya se encontraban complementadas y la información fue proporcionada por la Corporación Autónoma Regional – CAR. A continuación, se presenta la precipitación mensual multianual en milímetros (mm) para todas las estaciones de las cinco subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá (Tabla 54).

Tabla 52. Precipitación media mensual multianual de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Nombre	Fuente	PRECIPITACIÓN (mm)										
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
FUTE	CAR	21,02	35,70	48,67	76,73	69,63	33,76	24,40	25,55	35,26	75,47	60,50
ANCLAJE 14	CAR	69,68	96,27	113,67	134,97	135,51	61,96	46,74	47,17	68,92	155,99	161,94
ARGENTINA	CAR	52,26	82,73	115,34	123,04	116,90	65,76	49,93	64,96	83,68	125,54	109,08
SAN GREGORIO	CAR	62,61	87,53	124,05	142,89	112,97	47,20	32,01	41,69	59,48	143,25	123,15
PEÑAS BLANCAS	CAR	91,98	97,70	160,54	181,02	139,70	75,34	71,60	67,27	88,19	196,00	217,25
DARÍO VALENCIA	CAR	67,85	97,44	143,19	133,38	124,28	63,25	42,01	36,76	66,97	159,25	160,91
L FRANCISCO JOSE DE CALDAS	CAR	76,73	95,76	144,75	172,92	137,38	60,79	46,80	39,73	77,40	195,29	165,64
VIOLETAS LAS	CAR	53,51	72,14	116,28	175,45	151,92	49,64	29,02	35,07	88,21	114,54	98,14
MESA LA	CAR	69,56	96,28	137,45	145,65	129,58	47,29	38,72	39,23	72,15	136,73	163,33
VICTORIA LA	CAR	61,00	76,30	121,64	166,73	125,02	45,20	31,45	33,18	91,40	148,44	161,29
ESC SAMPER MADRID	CAR	61,03	82,23	129,93	135,58	106,02	63,25	32,56	31,97	62,28	136,78	128,81
ARGELIA	CAR	44,54	59,90	107,03	146,54	123,11	61,27	29,56	26,04	62,09	121,23	77,83
MESITAS	CAR	75,55	107,37	135,57	131,62	139,04	64,59	48,98	44,90	76,06	154,01	162,92
ESPERANZA LA	CAR	102,54	127,75	158,99	183,09	159,64	86,38	53,31	72,56	94,96	201,03	203,41
PALOQUEMAO	CAR	69,31	81,84	122,55	148,02	116,13	58,52	46,95	53,11	74,10	186,99	171,04
VIOTÁ	IDEAM	74,06	100,22	151,96	185,40	137,55	67,22	47,95	38,90	79,24	200,57	161,59
HIDROPARAISO	IDEAM	60,37	86,13	109,22	136,86	146,81	95,16	84,05	74,24	71,21	159,41	156,16
MERCEDES LAS	IDEAM	68,69	95,40	129,23	131,32	135,10	44,65	36,10	43,87	70,81	124,10	133,74
FLORIDA LA	IDEAM	56,35	86,44	125,39	150,31	118,79	59,18	46,96	64,76	93,17	160,37	165,81
PRIMAVERA D MATIMA	IDEAM	47,51	67,85	107,66	116,95	96,37	48,12	30,88	37,58	60,16	121,52	106,61
ACAPULCO	IDEAM	43,41	58,58	82,21	126,32	86,63	50,15	40,02	38,14	53,46	106,54	85,99

Fuente: (Camelo,2018)

En la Tabla 55 se encuentra la precipitación media mensual multianual de las cinco subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Tabla 53. Precipitación (mm) media mensual de cada subcuenca de la cuenca Baja del Río Bogotá.

NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Río Bogotá (Sector Salto - Soacha)	29,32	44,73	64,63	93,57	81,42	48,89	38,83	35,10	44,65	92,36	81,01	54,15	708,66
Río Calandaima	71,70	93,02	134,99	151,26	127,96	64,83	48,29	43,33	73,64	162,01	153,96	97,23	1222,23
Río Medio Bogotá	64,16	85,86	119,15	137,56	122,67	61,90	48,89	47,65	68,51	146,42	146,56	95,19	1144,51
Río Apulo	63,52	87,37	123,68	140,45	121,86	57,21	42,86	50,46	73,04	147,71	144,35	93,23	1145,76
Río Bajo Bogotá	59,96	77,15	123,52	168,00	136,43	58,58	36,47	35,23	84,54	143,56	120,90	82,77	1127,09

Fuente: (Camelo,2018)

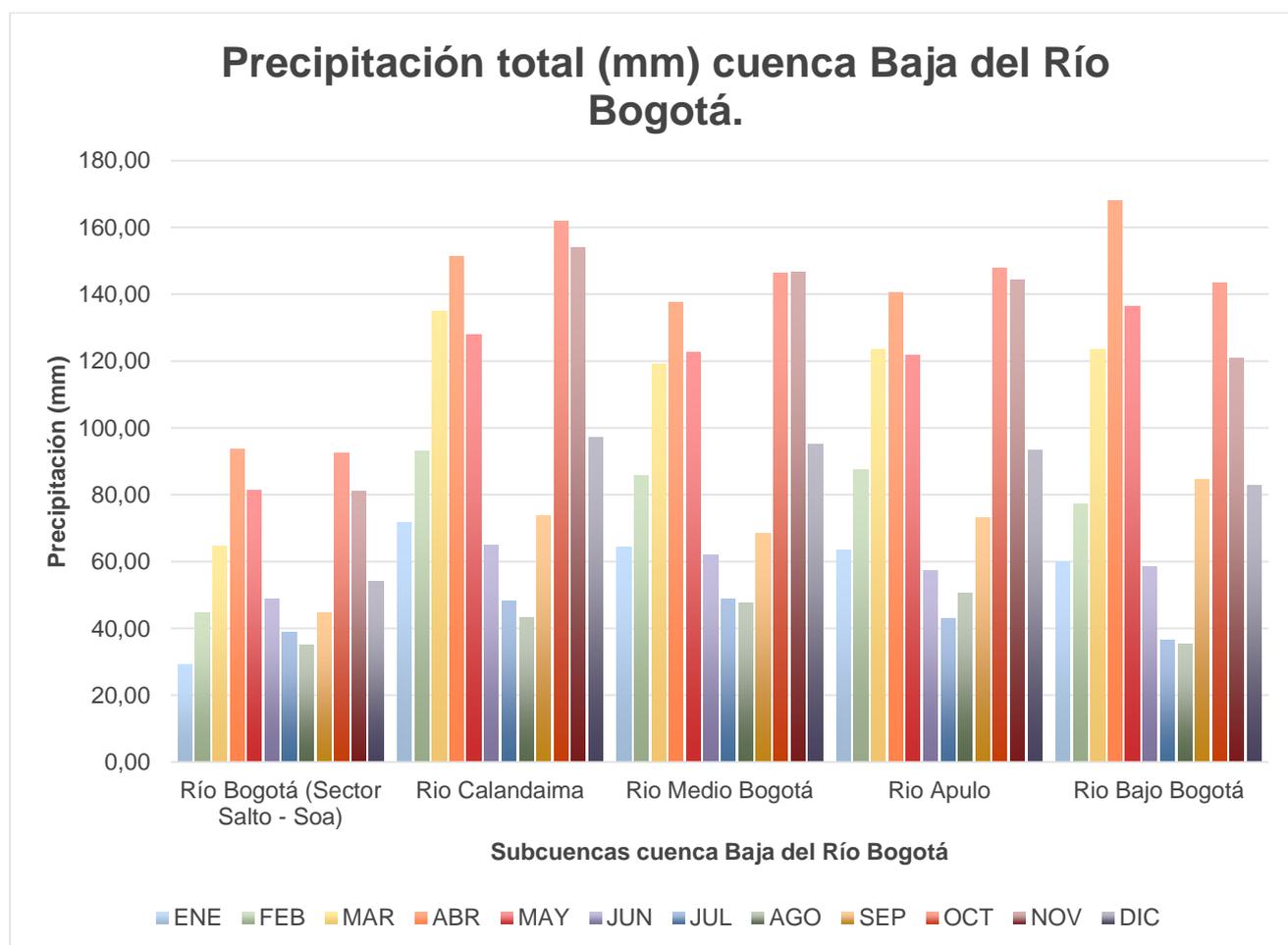


Figura 44. Precipitación total (mm) de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Figura 44, las subcuencas del Río Calandaima y Río Bajo Bogotá presentan los valores de precipitación media más altos de toda la Cuenca Baja del Río Bogotá, con valores de 153,96 mm para el mes de octubre y 168,00 mm para el mes de abril respectivamente. En contraste con la subcuenca del Río Bogotá (Sector Salto- Soacha), que presenta el valor más bajo de precipitación (29,32 mm) para el mes de enero, representado como la época seca de la cuenca.

10.2.4 Evapotranspiración potencial – ETP.

Para el cálculo de la ETP se tuvo en cuenta la metodología del ENA 2010 y la regionalización mensual de la variable por medio de la relación ETP mensual y altura (m.s.n.m) de cada estación perteneciente a la cuenca Baja del Río Bogotá. A continuación, se presentan las ecuaciones obtenidas de cada regresión mensual para la generación de la ETP (Tabla 56).

Tabla 54. Ecuaciones para ETP mensual de la cuenca Baja del Río Bogotá.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR
ETP	$y = - 0,0203x+127,92$	$y = - 0,0193x+120,28$	$y = - 0,0207x+130,91$	$y = - 0,0185x+119,5$
MES	MAY	JUN	JUL	AGO
ETP	$y = - 0,0189x+120,63$	$y = - 0,0199x+120,65$	$y = - 0,0237x+134,75$	$y = - 0,0256x+142,05$
MES	SEP	OCT	NOV	DIC
ETP	$y = - 0,023x+132,7$	$y = - 0,0203x+123,74$	$y = - 0,0177x+123,74$	$y = - 0,0188x+119,19$

Fuente: (Robayo, 2017)

En la Tabla 57 se presenta los valores de evapotranspiración potencial – ETP media mensual de cada subcuenca de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Tabla 55. ETP media mensual (mm) de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.

CODIGO CUENCA	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-05	Rio Bogotá (Sector Salto - Soacha)	74,60	69,58	76,54	70,91	70,98	68,38	72,50	74,81	72,29	70,42	77,25	69,81	868,05
2120-03	Rio Calandaima	103,16	96,74	105,66	96,93	97,58	96,38	105,84	110,82	104,64	98,98	102,15	96,26	1215,13
2120-04	Rio Medio Bogotá	98,09	91,92	100,49	92,32	92,86	91,41	99,93	104,43	98,90	93,91	97,73	91,57	1153,56
2120-02	Rio Apulo	99,82	93,57	102,26	93,89	94,47	93,10	101,95	106,62	100,86	95,64	99,24	93,17	1174,58
2120-01	Rio Bajo Bogotá	118,36	111,20	121,17	110,79	111,73	111,28	123,59	130,00	121,87	114,18	115,41	110,34	1399,94

Fuente: (Camelo, 2018)

10.2.5 Evapotranspiración real – ETR.

Para determinar la ETR, se usó el método Budyco que se establece en el ENA 2010, donde se requieren los datos de precipitación y ETP media mensual de cada una de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá. En la Tabla 58 se muestran los resultados de ETR media mensual de cada subcuenca.

Tabla 56. ETR media mensual (mm) de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.

CODIGO CUENCA	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANNUAL
2120-05	Rio Bogotá (Sector Salto - Soacha)	27,19	37,02	48,23	55,02	52,23	39,05	33,86	31,68	37,54	54,50	54,41	41,92	512,63
2120-03	Rio Calandaima	57,90	65,50	81,15	79,47	75,51	52,82	43,38	40,10	59,21	82,11	82,76	66,60	786,51
2120-04	Rio Medio Bogotá	52,82	61,31	74,78	74,49	72,11	50,17	43,20	42,86	55,37	76,68	78,77	64,14	746,69
2120-02	Rio Apulo	52,81	62,49	76,93	75,89	72,80	47,87	39,23	44,94	57,98	77,70	79,32	64,11	752,07
2120-01	Rio Bajo Bogotá	53,24	62,39	84,61	90,28	84,53	51,59	35,26	34,34	68,56	86,99	80,42	65,16	797,36

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 57. Comparación ETP y ETR con los valores de ETP y ETR del año 2014.

Nombre	ETP		ETR	
	2017	2014	2017	2014
Sector Salto-Soacha	868,05	870,2	512,63	465,9
Rio Medio Bogotá	1153,56	1084,1	746,69	705,6
Río Calandaima	1215,13	1216,3	786,51	804,2
Río Apulo	1174,58	1150,4	752,07	746,9
Río Bajo Bogotá	1399,94	1415,5	797,36	792,9

Fuente: (Camelo,2018)

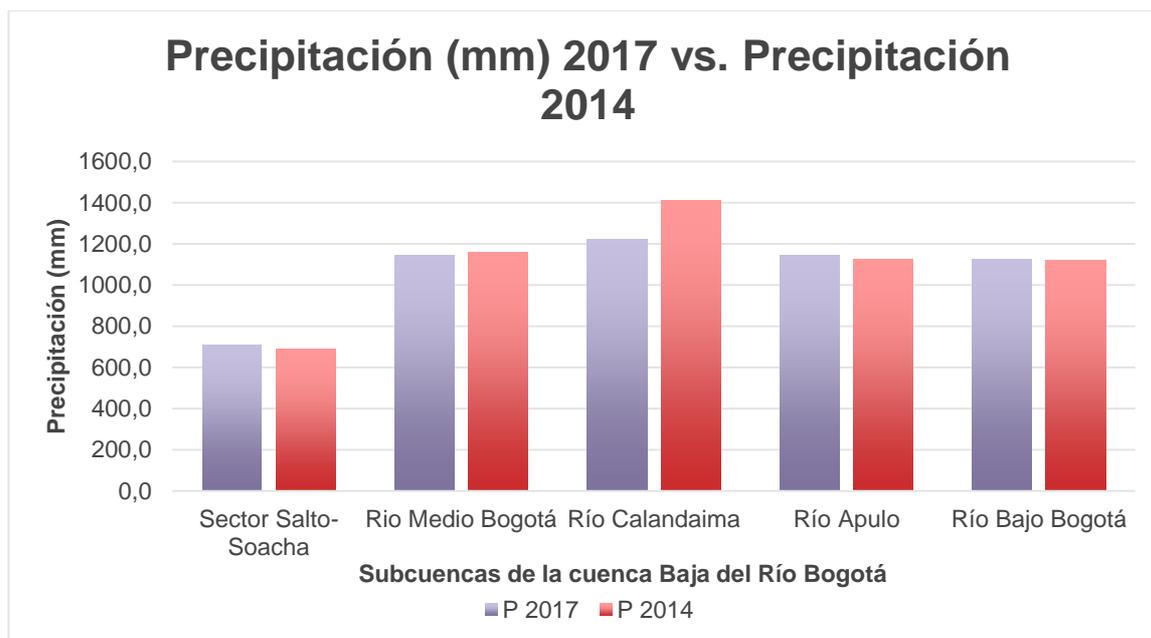


Figura 45. Precipitación (mm) 2017 vs. Precipitación 2014 de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con los resultados de Evapotranspiración potencial –ETP y Evapotranspiración Real en comparación con los encontrados en la ERA del 2014, la ETP y ETR se han mantenido estables (Tabla 59). En términos generales, la ETP aumentó un 1.28% y la ETR aumentó un 2.22% para el año 2017, este valor puede estar asociado, a las temperaturas que se presentan en la cuenca Baja del Río Bogotá, ya que el aumento de la temperatura se encuentra asociado directamente con el aumento de la evapotranspiración.

Según Pereyra, Cruz & Agustín (2011), un aumento de la ETR puede disminuir la concentración de humedad en el suelo y sumado a una disminución de la precipitación podría causar un déficit en el suministro de agua. Por tal razón, es debido tener medidas de prevención, para que, en las épocas de estiaje, se pueda asegurar la distribución del recurso hídrico para suplir la demanda de agua de la zona (Pereyra, Cruz, & Agustín, 2011).

Como se puede observar en la Figura 45, la precipitación se mantiene estable en comparación con la precipitación del año 2014, a excepción de la subcuenca del Río Calandaima con una reducción del 18% en la precipitación con respecto a la informada por el año 2014. Esto puede estar relacionado con la variabilidad climática de la zona, la cual, según Hurtado & Mesa, la probabilidad de que las precipitaciones disminuyan puede llegar hasta un 60% (Hurtado & Mesa, 2015).

10.2.6 Escorrentía Superficial Total.

Para el cálculo de la escorrentía superficial se requiere de la diferencia de la precipitación media y la ETR media de cada una de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá. Los resultados obtenidos se presentan de la Tabla 60 a la Tabla 64. Para ver los cálculos realizados de escorrentía superficial dirigirse al Anexo 6.

Tabla 58. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Bogotá (Sector Salto-Soacha)

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	29,32	44,73	64,63	93,57	81,42	48,89	38,83	35,10	44,65	92,36	81,01	54,15
ETR (mm)	27,19	37,02	48,23	55,02	52,23	39,05	33,86	31,68	37,54	54,50	54,41	41,92
ESCORRENTÍA (m³/s)	0,09	0,31	0,66	1,55	1,17	0,39	0,20	0,14	0,29	1,52	1,07	0,49

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 59. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Calandaima.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	71,70	93,02	134,99	151,26	127,96	64,83	48,29	43,33	73,64	162,01	153,96	97,23
ETR (mm)	57,90	65,50	81,15	79,47	75,51	52,82	43,38	40,10	59,21	82,11	82,76	66,60
ESCORRENTÍA (m³/s)	1,38	2,76	5,39	7,19	5,25	1,20	0,49	0,32	1,45	8,00	7,13	3,07

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 60. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Medio Bogotá.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	64,16	85,86	119,15	137,56	122,67	61,90	48,89	47,65	68,51	146,42	146,56	95,19
ETR (mm)	52,82	61,31	74,78	74,49	72,11	50,17	43,20	42,86	55,37	76,68	78,77	64,14
ESCORRENTÍA (m³/s)	1,35	2,91	5,26	7,48	5,99	1,39	0,67	0,57	1,56	8,27	8,03	3,68

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 61. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Apulo.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	63,52	87,37	123,68	140,45	121,86	57,21	42,86	50,46	73,04	147,71	144,35	93,23
ETR (mm)	52,81	62,49	76,93	75,89	72,80	47,87	39,23	44,94	57,98	77,70	79,32	64,11
ESCORRENTÍA (m³/s)	1,94	4,50	8,46	11,68	8,87	1,69	0,66	1,00	2,73	12,66	11,76	5,27

Fuente: (Camelo,2018)

Tabla 62. Escorrentía total de la Subcuenca del Río Bajo Bogotá.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	59,96	77,15	123,52	168,00	136,43	58,58	36,47	35,23	84,54	143,56	120,90	82,77
ETR (mm)	53,24	62,39	84,61	90,28	84,53	51,59	35,26	34,34	68,56	86,99	80,42	65,16
ESCORRENTÍA (m³/s)	1,39	3,05	8,05	16,08	10,74	1,45	0,25	0,19	3,30	11,70	8,37	3,64

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con Espinoza y Custodio (2016), la escorrentía puede surgir a partir de la acumulación de agua en el suelo, por acción de lluvias consecutivas o una lluvia muy fuerte que supere los 100 mm por día, esto quiere decir, que haya o no escorrentía, depende directamente de la cantidad de agua precipitada y que se encuentre acumulada en los suelos (Espinoza & Custodio, 2016). Para el caso de la cuenca Baja del Río Bogotá, la subcuenca con mayor escorrentía superficial correspondiente al período húmedo es de la del Río Bajo Bogotá. Lo anterior puede ser resultado de la gran cantidad de rocas impermeables que se encuentran predominantes en los suelos de la cuenca (CAR, 2006).

10.2.7 Balance Hídrico.

Para la determinación del balance hídrico se tiene en cuenta la metodología planteada por el IDEAM en la guía metodológica y conceptual para la Evaluación Regional del Agua 2010, la cual, establece que para la determinación del balance hídrico se deben tener los valores de la escorrentía total mensual en milímetros (mm) (Tabla 65 a la Tabla 68) para ser comparados con la serie histórica de caudales medios mensuales obtenidos para cada subcuenca (modelo o estación).

10.2.7.1 Subcuenca del Río Bogotá (Sector Salto-Soacha).

Para la Subcuenca del Río Bogotá (Sector Salto-Soacha) no se tienen resultados asociados al balance hídrico, debido a que no hay información de caudales medios mensuales (estación o modelo) para que se pueda realizar la comparación.

10.2.7.2 Subcuenca del Río Calandaima.

Tabla 63. Balance hídrico Subcuenca del Río Calandaima.

Mes	Balance hídrico (m ³ /s)	Estación Puente Samper Madrid
ENE	1,38	3,32
FEB	2,76	3,61
MAR	5,39	3,55
ABR	7,19	4,30
MAY	5,25	3,79
JUN	1,20	2,85
JUL	0,49	1,26
AGO	0,32	0,80
SEP	1,45	1,11
OCT	8,00	2,54
NOV	7,13	3,40
DIC	3,07	3,63

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Figura 46, la Subcuenca del Río Calandaima tiene un comportamiento bimodal en el año, con dos períodos secos de diciembre a febrero (1,38 m³/s a 3,07 m³/s) y más pronunciado de junio a septiembre (0,32 m³/s a 1,45 m³/s) y dos períodos húmedos de marzo a mayo (5,25 m³/s a 7,19 m³/s) y de octubre a noviembre (7,13 m³/s a 8,00 m³/s). Se puede observar, además, que la estación Puente Samper Madrid tiene una correlación

mediana con los datos encontrados del balance hídrico, por lo que se pueden tener en cuenta los datos, pero no son representativos por la diferencia en el comportamiento de los dos métodos.

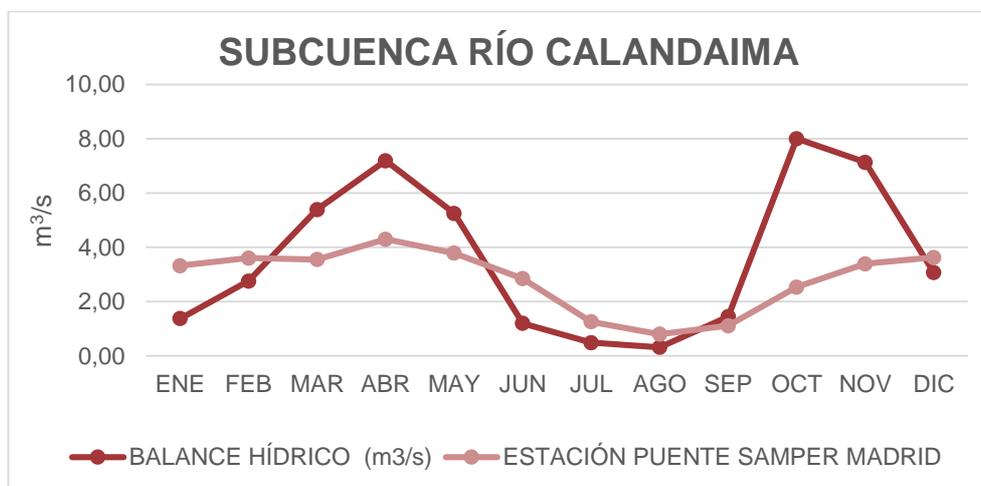


Figura 46. Balance hídrico Subcuenca del Río Calandaima.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.7.3 Subcuenca del Río Medio Bogotá.

Tabla 64. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Medio Bogotá.

Mes	Balance hídrico (m³/s)
ENE	1,35
FEB	2,91
MAR	5,26
ABR	7,48
MAY	5,99
JUN	1,39
JUL	0,67
AGO	0,57
SEP	1,56
OCT	8,27
NOV	8,03
DIC	3,68

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con la Figura 47, la Subcuenca del Río Medio Bogotá presenta un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos de marzo a mayo (5,26 a 5,99 m³/s) y de octubre a diciembre (3,68 a 8,27 m³/s), y con dos períodos secos de enero a febrero (1,35 a 2,91 m³/s) y más pronunciado de junio a septiembre (0,57 a 1,56 m³/s). No hay datos de comparación para la subcuenca, debido a la ausencia de estaciones de cierre que brinden información de caudales de la misma.

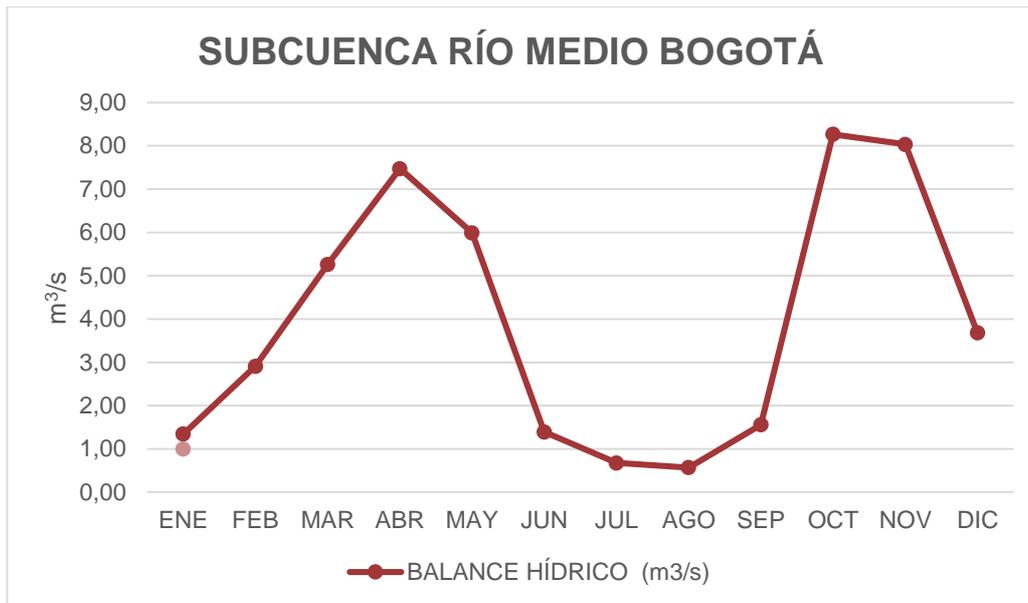


Figura 47. Balance hídrico de la Subcuenca del Río Medio Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.7.4 Subcuenca del Río Apulo.

Tabla 65. Balance hídrico Subcuenca del Río Apulo

Mes	Balance hídrico (m³/s)	Estación Puente Apulo
ENE	1,94	3,38
FEB	4,50	2,92
MAR	8,46	3,85
ABR	11,68	5,25
MAY	8,87	5,02
JUN	1,69	2,65
JUL	0,66	1,84
AGO	1,00	1,48
SEP	2,73	2,03
OCT	12,66	4,02
NOV	11,76	6,97
DIC	5,27	5,85

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con la Figura 48, la Subcuenca del Río Apulo presenta un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos de marzo a mayo (8,46 a 11,68 m³/s) y de octubre a noviembre (11,76 a 12,66 m³/s), y con dos períodos secos de diciembre a febrero (1,94 a 5,27 m³/s) y más pronunciado de junio a septiembre (0,66 a 1,69 m³/s). Se puede observar que los datos obtenidos de la Estación Puente Apulo difieren de los resultados del balance hídrico, sin embargo, se puede evidenciar que tiene un comportamiento semejante a éste último.

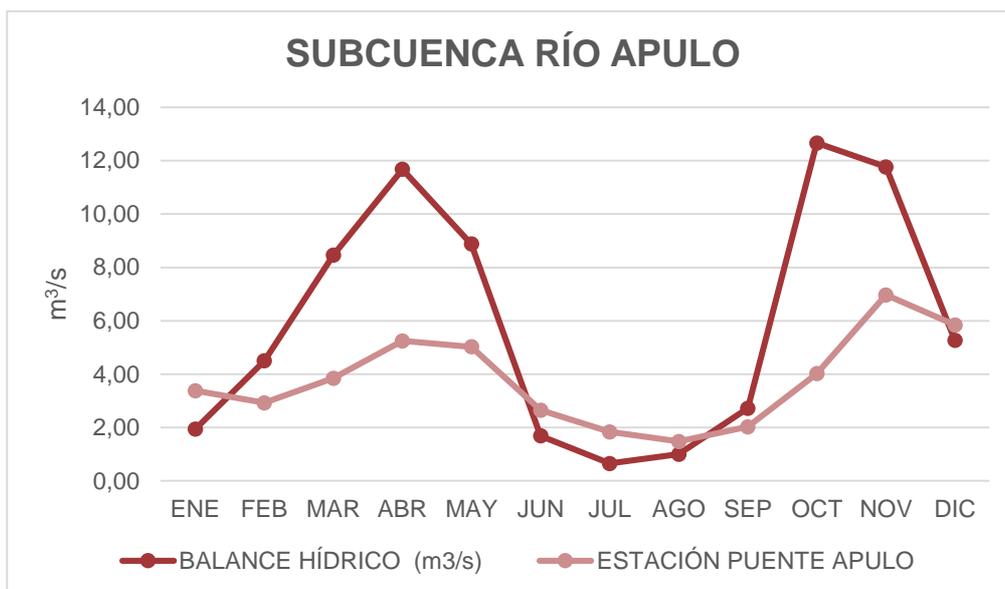


Figura 48. Balance hídrico Subcuenca del Río Apulo

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.7.5 Subcuenca del Río Bajo Bogotá.

Tabla 66. Balance hídrico Subcuenca del Río Bajo Bogotá.

Mes	Balace hídrico (m³/s)	Estación El Portillo y La Campiña
ENE	1,39	6,79
FEB	3,05	8,26
MAR	8,05	10,29
ABR	16,08	24,91
MAY	10,74	19,46
JUN	1,45	13,48
JUL	0,25	7,11
AGO	0,19	8,27
SEP	3,30	8,04
OCT	11,70	9,73
NOV	8,37	25,56
DIC	3,64	21,17

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con la Figura 49, la Subcuenca del Río Bajo Bogotá presenta un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos con picos de marzo a mayo (8,05 a 16,08 m³/s) y de octubre a noviembre (8,37 a 11,70 m³/s), y con dos períodos secos de diciembre a febrero (1,39 a 3,64 m³/s) y más pronunciado de junio a septiembre (0,19 a 3,30 m³/s). Se puede observar que los datos obtenidos de la estación La Campiña y El portillo se encuentran por encima de los del Balance hídrico, sin embargo, el comportamiento que estos presentan es muy similar al de éste último.

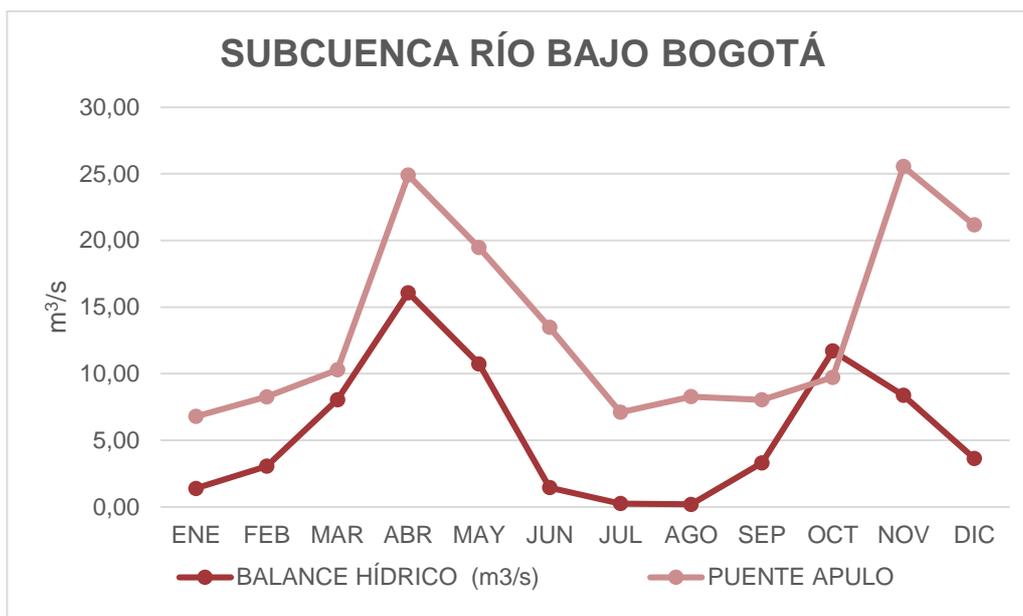


Figura 49. Balance hídrico Subcuenca del Río Bajo Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.8 Caudal Ambiental.

Para determinar el caudal ambiental, se establecieron las estaciones de cierre de las cinco subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá, donde se elaboraron las curvas de duración de caudales medios mensuales para la serie histórica de cada estación. Se tiene en cuenta que para conocer el valor del caudal ambiental es necesario establecer el Índice de Regulación y Retención Hídrica – IRH, ya que con un valor bajo o alto el caudal ambiental se determina al 75% o al 85% respectivamente. A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada una de las subcuencas.

10.2.8.1 Subcuenca Río Bogotá (Sector Salto-Soacha).

Para esta subcuenca no se pudo determinar el caudal ambiental, debido a la ausencia de información acerca de los caudales medios mensuales de la misma, ya que éstos son base fundamental para el cálculo del IRH y sin ellos, es imposible estimarlo.

10.2.8.2 Subcuenca Río Calandaima.

Para la estimación del caudal ambiental de la Subcuenca del Río Calandaima se tomaron los caudales medios mensuales de la estación Puente Samper Madrid a través del boletín de caudales de la Corporación Autónoma Regional –CAR, con un caudal ambiental al 85 % de 0,56 m³/s en un período de 1991-2007 (16 años)

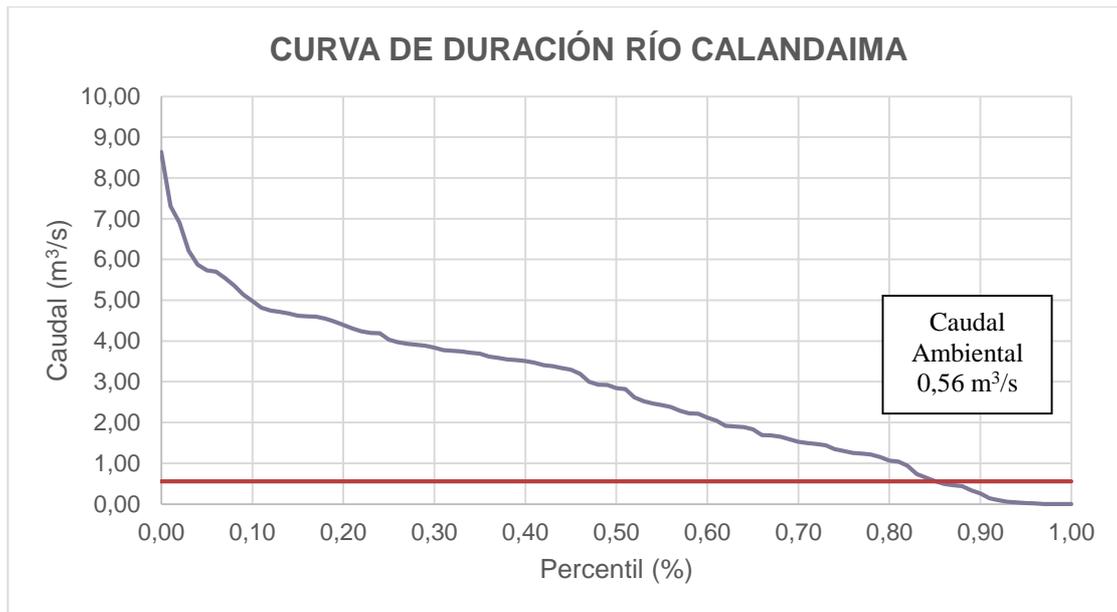


Figura 50. Curva de duración de caudales medios mensuales del Río Calandaima.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.8.3 Subcuenca Río Medio Bogotá.

Para la subcuenca de Río Medio Bogotá no se estimó curva de duración de caudales medios mensuales, debido a la ausencia de información de estaciones hidrometeorológicas al cierre de la subcuenca.

10.2.8.4 Subcuenca Río Apulo.

Para la estimación del caudal ambiental, se tomaron los datos de la serie de caudales medios mensuales de la estación Puente Apulo, la cual, obtuvo un caudal ambiental al 85% de 0,95 m³/s en un período de 1992-2017 (25 años).

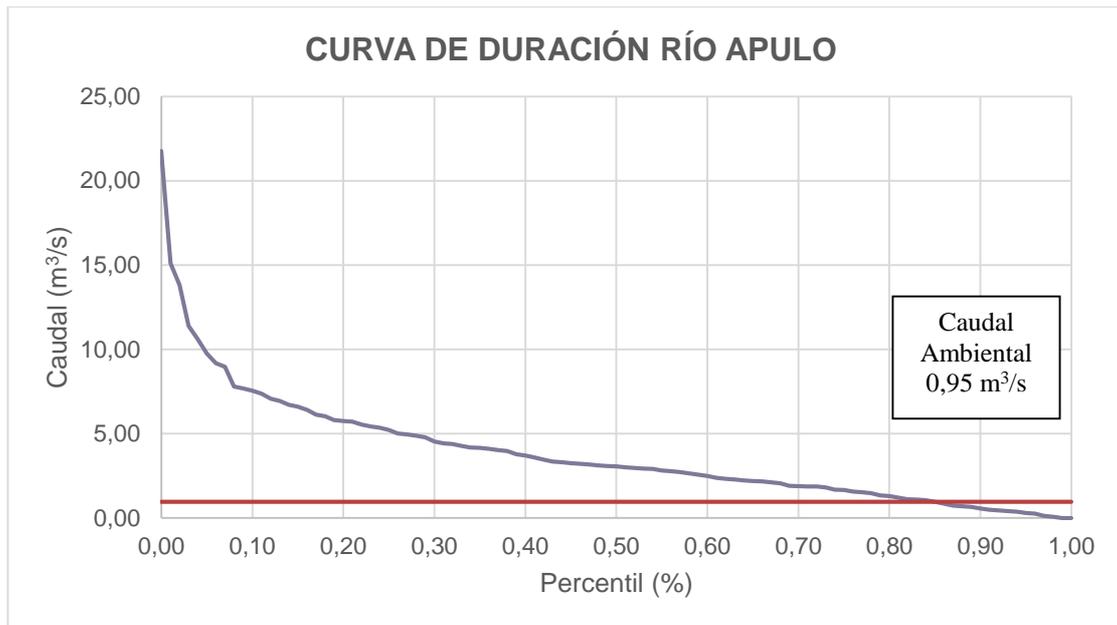


Figura 51. Curva de duración de caudales medios mensuales del Río Apulo.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.8.5 Subcuenca Río Bajo Bogotá.

Para determinar el caudal ambiental de la subcuenca del Río Bajo Bogotá, se tomó la serie de caudales medios mensuales de la estación La campiña y El portillo, los cuales, se restaron para tener el total del caudal para la subcuenca. Se obtuvo como resultado un caudal ambiental al 75% de 0,00 m³/s en un período de 1994-2017 (23 años).

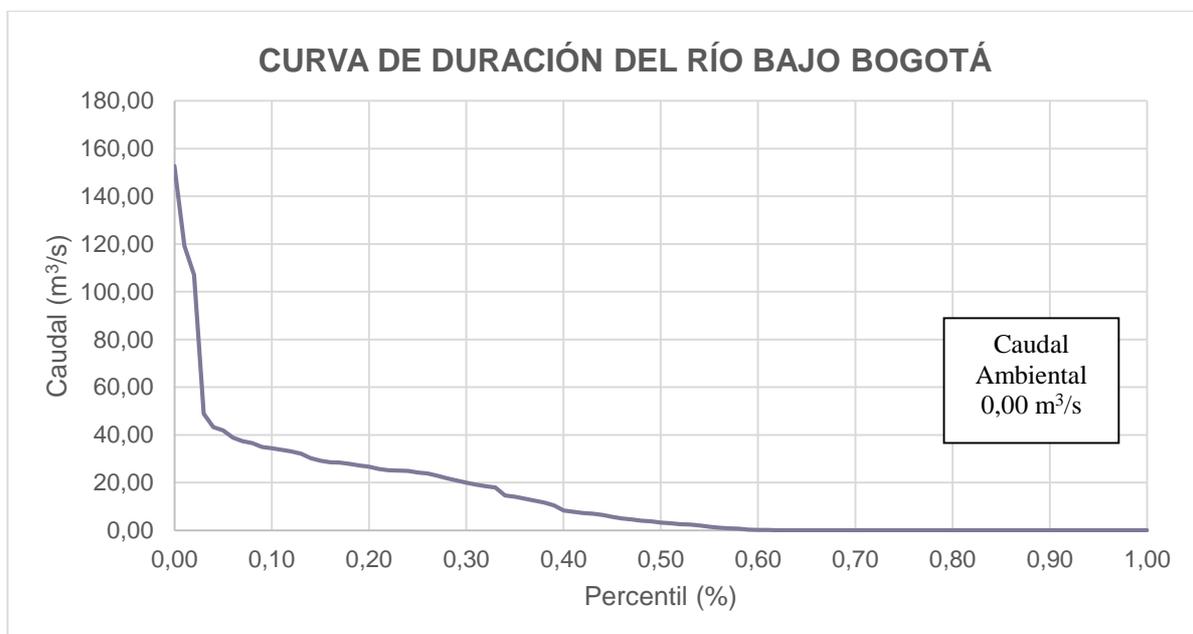


Figura 52. Curva de duración de caudales medios mensuales del Río Bajo Bogotá

Fuente: (Camelo,2018)

En la Tabla 69 se presenta el resumen de resultados obtenidos por cada una de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Tabla 67. Caudal ambiental de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.

ESTACIÓN	IRH	IRH (categorizado)	Q _{amb} (m ³ /s)
RÍO BAJO BOGOTÁ	0,41	MUY BAJO	0,00
RÍO CALANDAIMA	0,72	MODERADO	0,56
RÍO APULO	0,66	MODERADO	0,95

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.9 Indicadores hidrológicos.

10.2.9.1 Índice de Retención y Regulación Hídrica – IRH.

Para determinar el IRH de la cuenca Baja del Río Bogotá, se toman los caudales medios mensuales de las estaciones de cierre de cada una de las subcuencas. Se evaluó el tiempo total, delta de tiempo, el V_t, el V_p y el caudal se determinó para diferentes percentiles (0-100%), como se presenta en el Anexo 7. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las cinco subcuencas de tercer orden de la cuenca Baja del Río Bogotá en contraste con los datos encontrados en la ERA del año 2014 (Tabla 70).

Tabla 68. IRH 2013 vs. IRH actual de la cuenca Baja del Río Bogotá.

SUBCUENCA	ESTACIÓN	V _p	V _t	IRH 2017	IRH (Categorizado)	IRH 2014	IRH (Categorizado)
Río Bajo Bogotá	La Campiña y El Portillo	1061529495,9	10960451717,2	0,41	MUY BAJO	0,74	MODERADO
Río Calandaima	Puente Samper Madrid	329935485,1	1452083849,2	0,72	MODERADO	0,79	ALTO
Río Apulo	Puente Apulo	937899088,6	3163668814,1	0,66	MODERADO	0,69	MODERADO

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con la Tabla 70, se puede observar que la retención y regulación de agua por parte de las subcuencas, disminuyó considerablemente en comparación con el IRH del año 2014. El valor que más tuvo un cambio significativo corresponde al de la subcuenca de Río Bajo Bogotá, donde disminuyó un 44,6% la retención de agua. Es importante recalcar, que la subcuenca de Río Medio Bogotá no presenta valor de comparación, debido a que no se realiza el cálculo para la ERA del 2014, por ausencia de información de caudales medios mensuales.

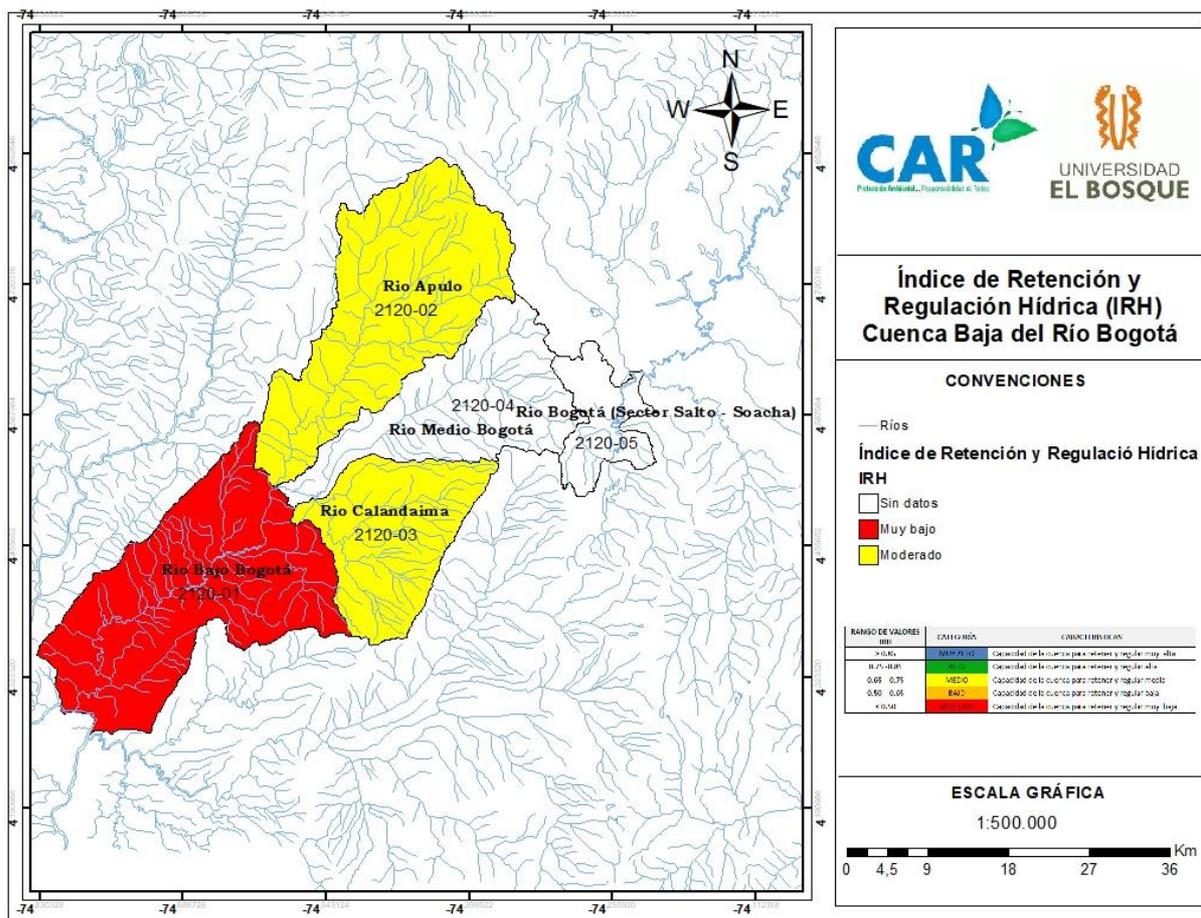


Figura 53. Índice de Regulación y Retención Hídrica de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.9.2 Índice de Aridez – IA.

Este indicador se calculó teniendo en cuenta los datos de evapotranspiración real – ETR y evapotranspiración potencial – ETP de las cinco subcuencas de tercer orden de la cuenca Baja del Río Bogotá. Para ver los cálculos realizados para la determinación del IA, remitirse al Anexo 8.

En la Tabla 71, se muestran los resultados obtenidos del Índice de Aridez – IA por cada subcuenca.

Tabla 69. Índice de Aridez – IA de la cuenca Baja del Río Bogotá.

ÍNDICE DE ARIDEZ													
Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Rio Bogotá (Sector Salto - Soacha)	0,64	0,47	0,37	0,22	0,26	0,43	0,53	0,58	0,48	0,23	0,30	0,40	0,41
Rio Calandaima	0,44	0,32	0,23	0,18	0,23	0,45	0,59	0,64	0,43	0,17	0,19	0,31	0,35
Rio Medio Bogota	0,46	0,33	0,26	0,19	0,22	0,45	0,57	0,59	0,44	0,18	0,19	0,30	0,35

ÍNDICE DE ARIDEZ													
Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Rio Apulo	0,47	0,33	0,25	0,19	0,23	0,49	0,62	0,58	0,43	0,19	0,20	0,31	0,36
Rio Bajo Bogota	0,55	0,44	0,30	0,19	0,24	0,54	0,71	0,74	0,44	0,24	0,30	0,41	0,43

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede observar en la Tabla 71, que la cuenca Baja del Río Bogotá se caracteriza por tener moderado y excedentes de agua en la mayoría de los meses del año, sin embargo, donde se encuentra mayor déficit del mismo es en los meses de enero y de junio a septiembre, teniendo relación directa con los periodos secos de cada una de las subcuencas.

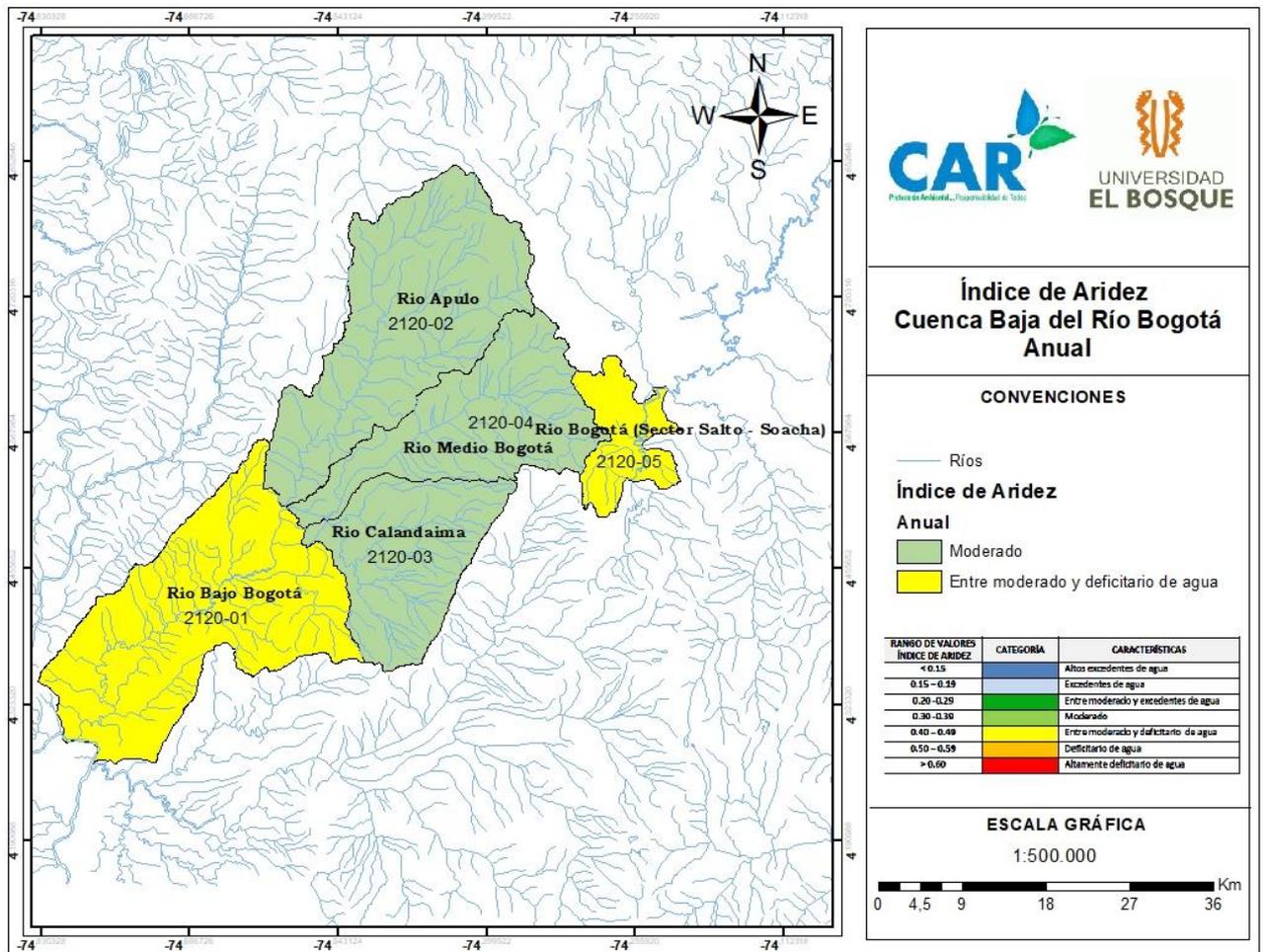


Figura 54. Índice de Aridez de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

A partir de las Tablas 72 a la 73, se muestran los resultados obtenidos en la ERA del año 2014 en contraste con el Índice de Aridez – IA actual de cada una de las subcuencas.

Tabla 70. Comparación IA 2013 vs IA actual del Río Bogotá (Sector Salto-Soacha).

Subcuenca 2120-05 Río Bogotá (Sector Salto-Soacha)												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	74,60	69,58	76,54	70,91	70,98	68,38	72,50	74,81	72,29	70,42	77,25	69,81
ETR	27,19	37,02	48,23	55,02	52,23	39,05	33,86	31,68	37,54	54,50	54,41	41,92
I. ARIDEZ	0,64	0,47	0,37	0,22	0,26	0,43	0,53	0,58	0,48	0,23	0,30	0,40
IA 2014	0,70	0,53	0,43	0,28	0,31	0,50	0,61	0,63	0,48	0,25	0,35	0,48

Fuente: (Camelo,2018)

En la Tabla 72 se puede evidenciar que el 50% de los meses del año mantienen su categoría mientras el restante tiene una mejoría en sus datos, disminuyendo los déficits de agua en relación con lo encontrado en el 2014.

Tabla 71. Comparación IA 2013 vs IA actual del Río Calandaima.

Subcuenca 2120-03 Río Calandaima												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	103,16	96,74	105,66	96,93	97,58	96,38	105,84	110,82	104,64	98,98	102,15	96,26
ETR	57,90	65,50	81,15	79,47	75,51	52,82	43,38	40,10	59,21	82,11	82,76	66,60
I. ARIDEZ	0,44	0,32	0,23	0,18	0,23	0,45	0,59	0,64	0,43	0,17	0,19	0,31
IA 2014	0,39	0,29	0,23	0,17	0,21	0,47	0,57	0,58	0,45	0,17	0,17	0,30

Fuente: (Camelo,2018)

La subcuenca del Río Calandaima ha permanecido estable en estos cinco años desde la primera actualización del ERA, con excepción en los meses de enero y agosto, los cuales aumentaron su déficit de agua.

Tabla 72. Comparación IA 2014 vs IA actual del Río Medio Bogotá.

Subcuenca 2120-04 Río Medio Bogotá												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	98,09	91,92	100,49	92,32	92,86	91,41	99,93	104,43	98,90	93,91	97,73	91,57
ETR	52,82	61,31	74,78	74,49	72,11	50,17	43,20	42,86	55,37	76,68	78,77	64,14
I. ARIDEZ	0,46	0,33	0,26	0,19	0,22	0,45	0,57	0,59	0,44	0,18	0,19	0,30
IA 2013	0,42	0,33	0,25	0,27	0,22	0,47	0,58	0,57	0,40	0,18	0,18	0,29

Fuente: (Camelo,2018)

En la Tabla 74 se puede evidenciar que en el 83% de los meses del año se mantienen en la misma categoría, a excepción del mes de abril y diciembre, los cuales tuvieron una variación de la misma.

Tabla 73. Comparación IA 2014 vs. IA actual del Río Apulo.

Subcuenca 2120-02 Río Apulo												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	99,82	93,57	102,26	93,89	94,47	93,10	101,95	106,62	100,86	95,64	99,24	93,17
ETR	52,81	62,49	76,93	75,89	72,80	47,87	39,23	44,94	57,98	77,70	79,32	64,11
I. ARIDEZ	0,47	0,33	0,25	0,19	0,23	0,49	0,62	0,58	0,43	0,19	0,20	0,31
IA 2014	0,45	0,33	0,25	0,18	0,21	0,49	0,63	0,54	0,39	0,18	0,20	0,33

Fuente: (Camelo,2018)

Para la Subcuenca del Río Apulo, se puede afirmar que solo el mes de septiembre tuvo una variación de la categoría donde se volvió más deficitario en agua, mientras que el resto de los meses se mantuvieron estables desde la ERA del 2014.

Tabla 74. Comparación IA 2014 vs. IA actual del Río Bajo Bogotá.

Subcuenca 2120-01 Río Bajo Bogotá												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETP	118,36	111,20	121,17	110,79	111,73	111,28	123,59	130,00	121,87	114,18	115,41	110,34
ETR	53,24	62,39	84,61	90,28	84,53	51,59	35,26	34,34	68,56	86,99	80,42	65,16
I. ARIDEZ	0,55	0,44	0,30	0,19	0,24	0,54	0,71	0,74	0,44	0,24	0,30	0,41
IA 2014	0,55	0,46	0,32	0,19	0,21	0,54	0,73	0,72	0,44	0,29	0,31	0,45

Fuente: (Camelo,2018)

La subcuenca del Río Bajo Bogotá no tuvo cambios aparentes en cuanto al Índice de Aridez-IA, por lo que se mantuvo estable desde el año 2014. Sin embargo, vale la pena recalcar que persiste un déficit de agua para los meses de julio y agosto.

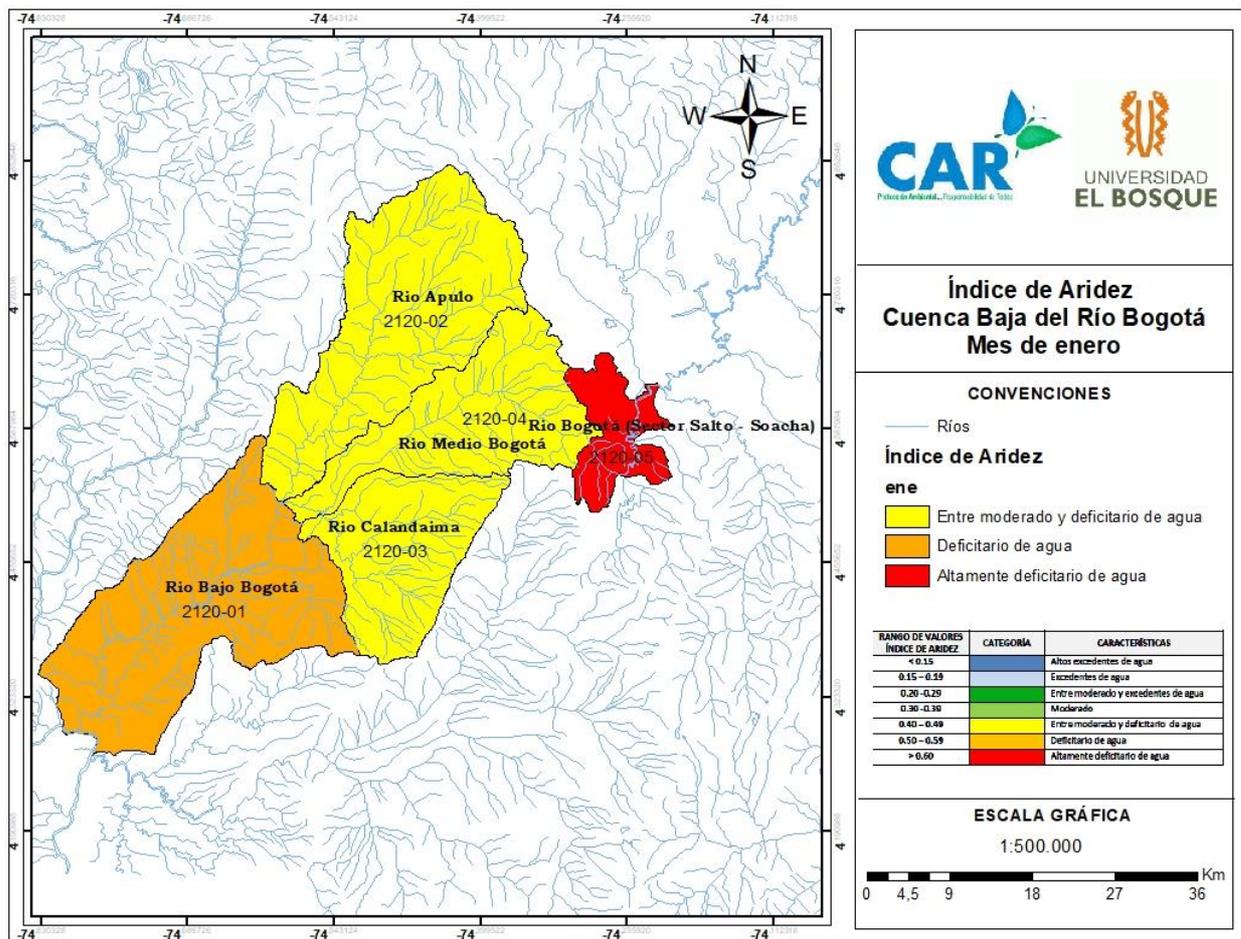


Figura 55. Índice de Aridez del mes de enero de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

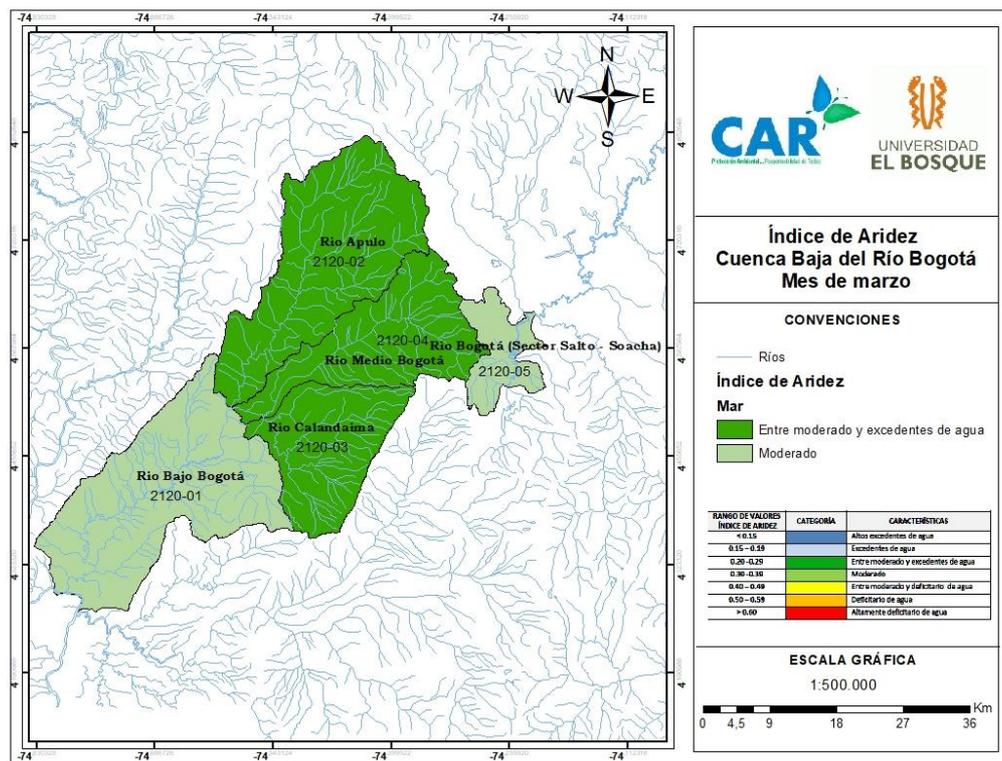
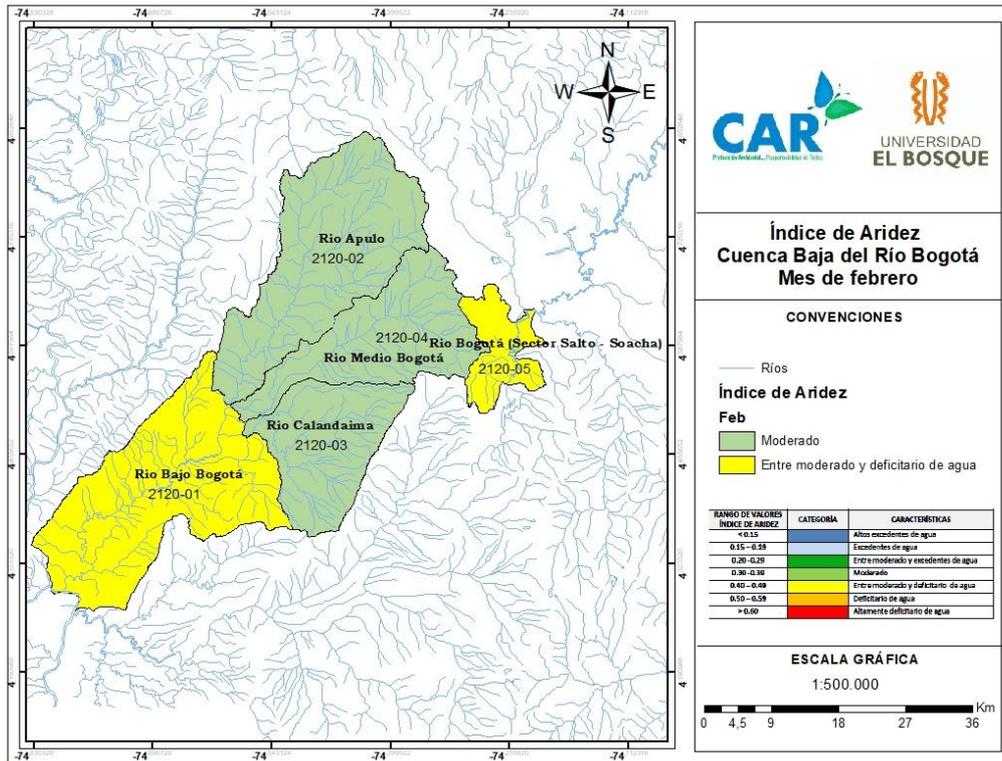


Figura 56. Índice de Aridez (febrero-marzo) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

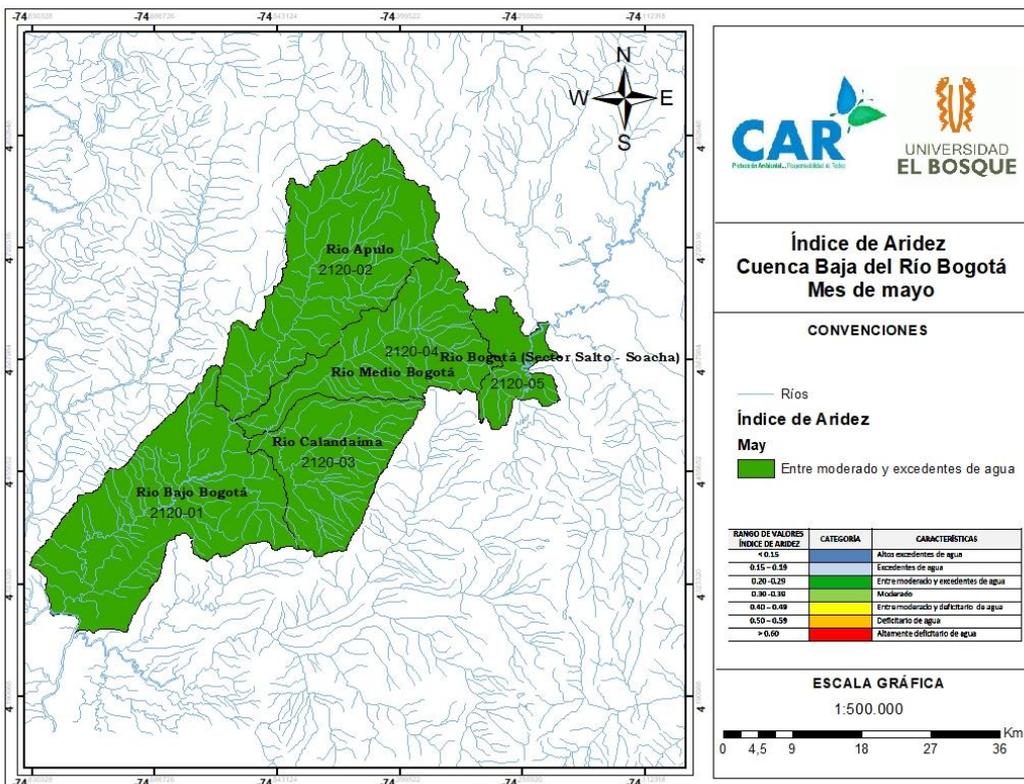
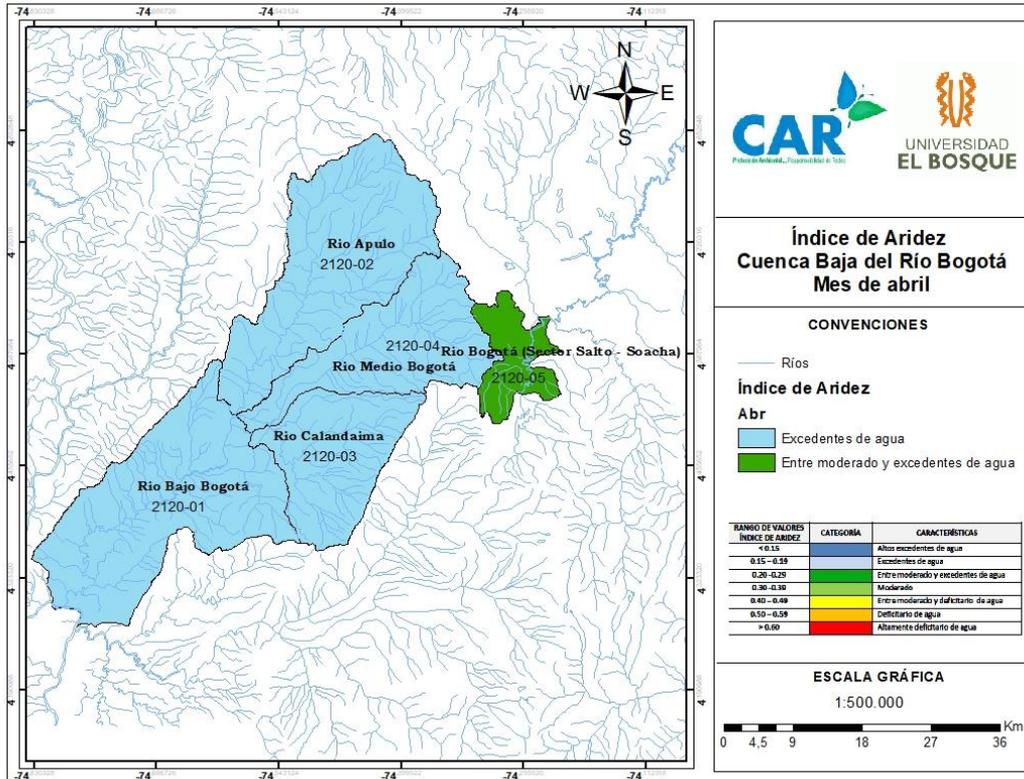


Figura 57. Índice de Aridez (abril-mayo) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo, 2018)

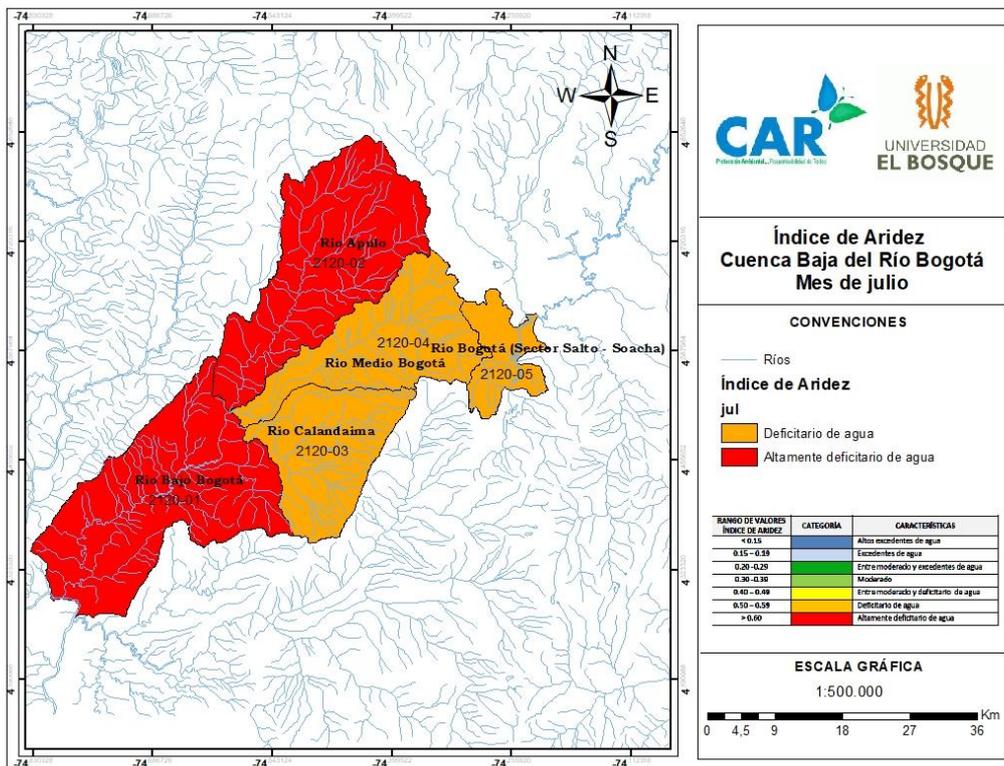
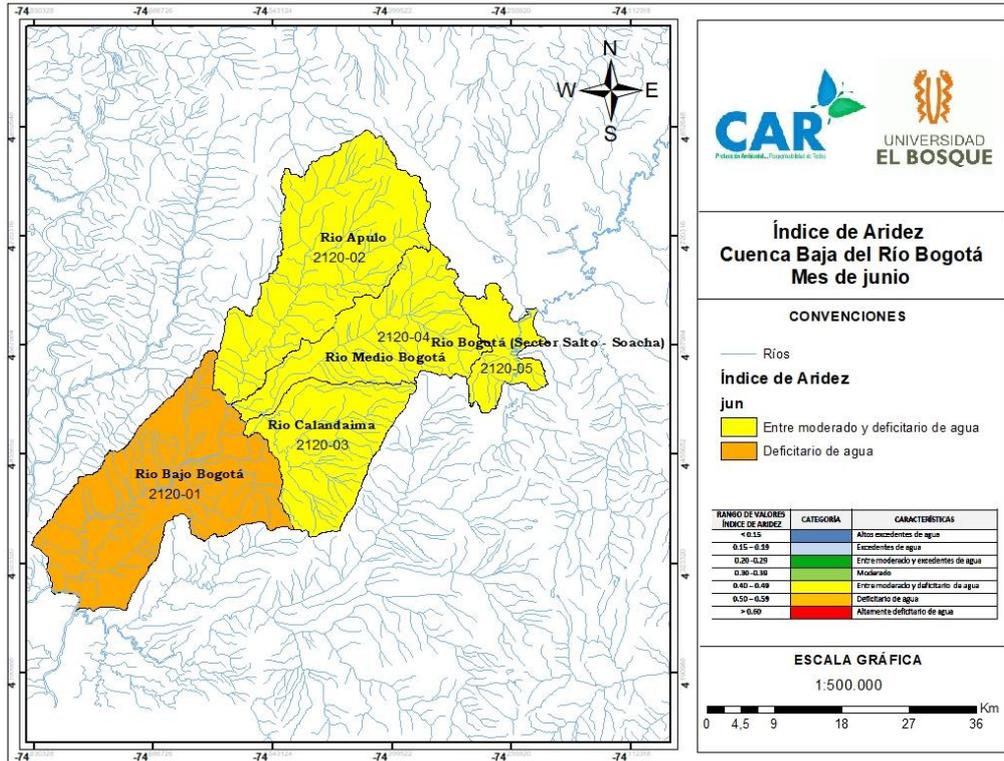


Figura 58. Índice de Aridez (junio-julio) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo, 2018)

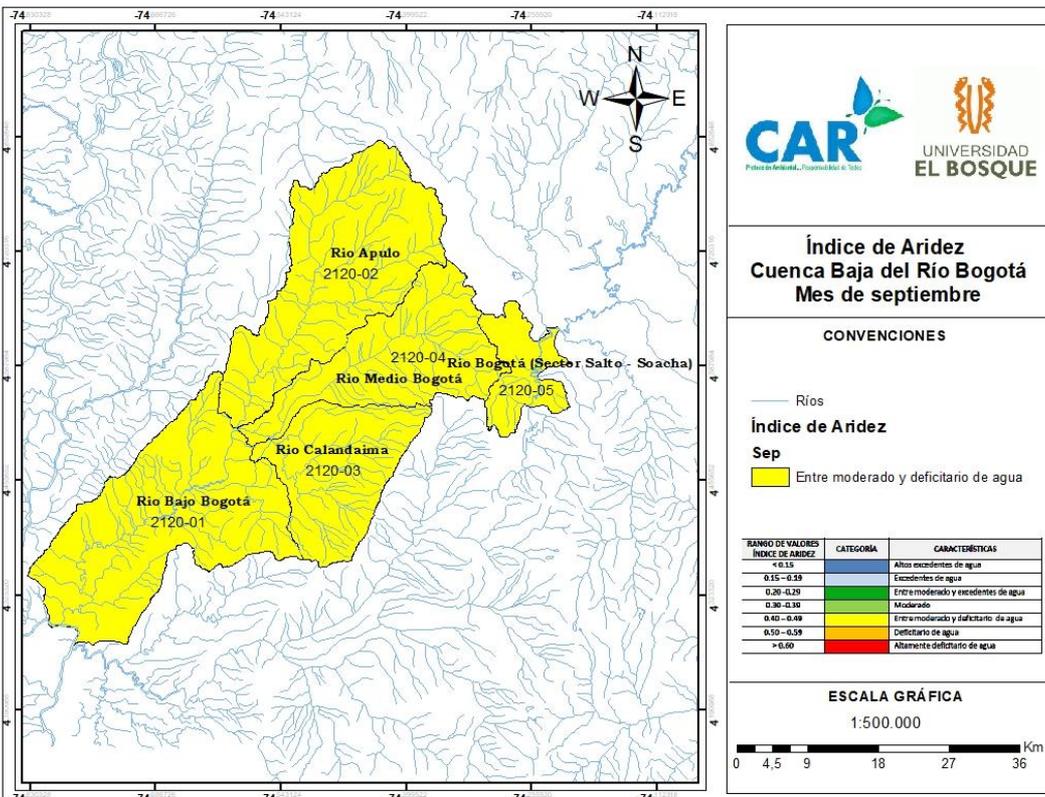
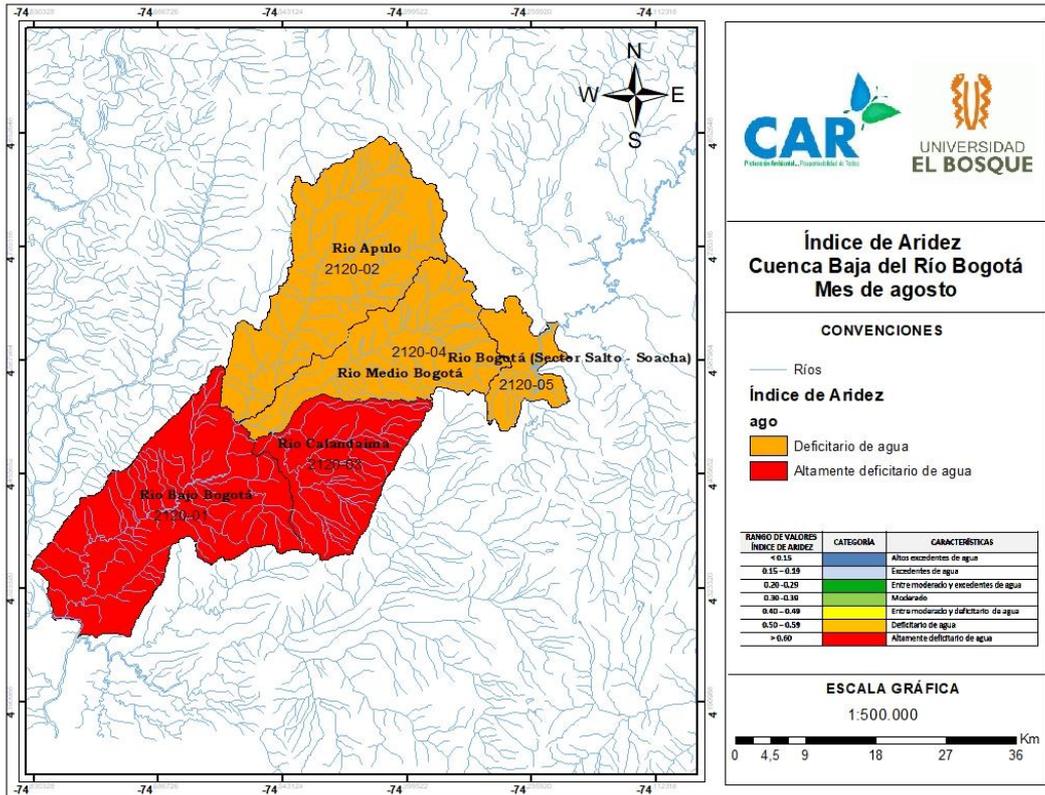


Figura 59. Índice de Aridez (agosto – septiembre) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

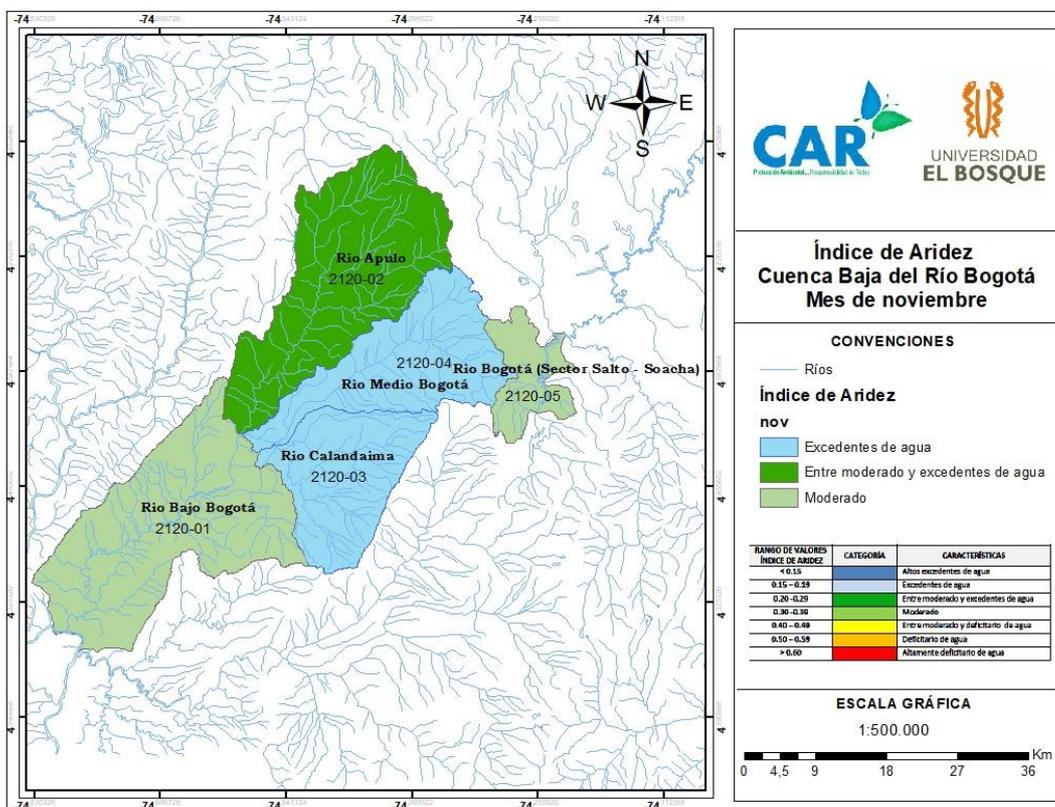
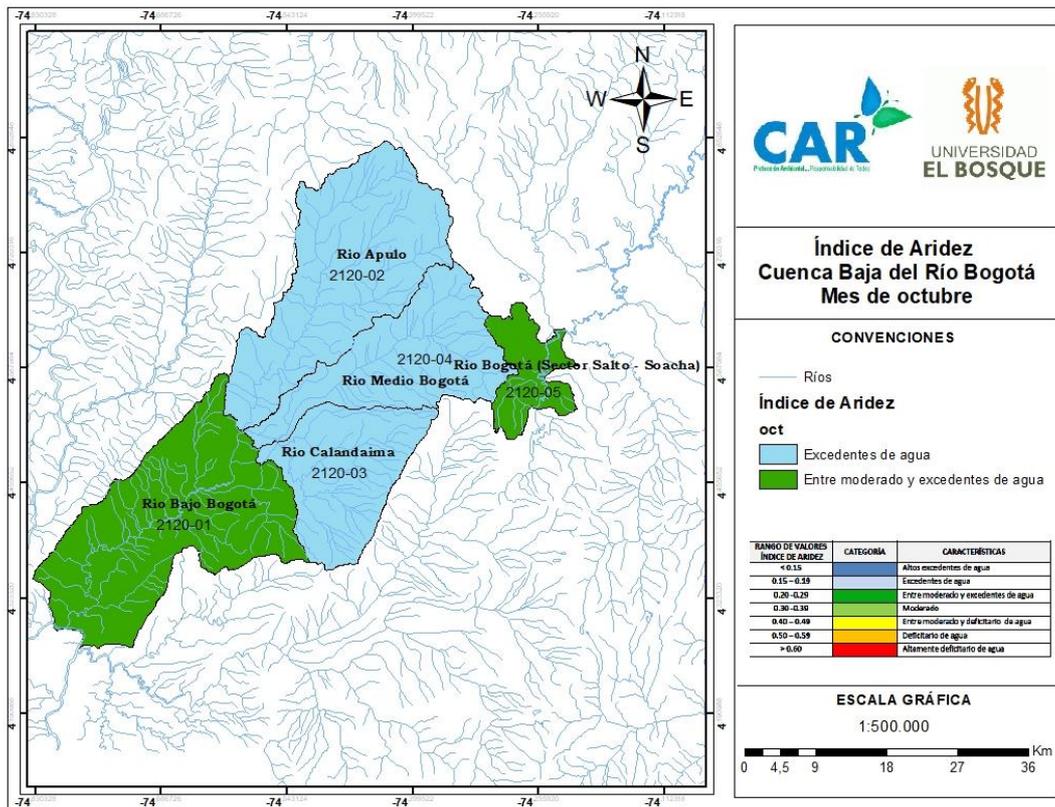


Figura 60. Índice de Aridez (octubre – noviembre) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

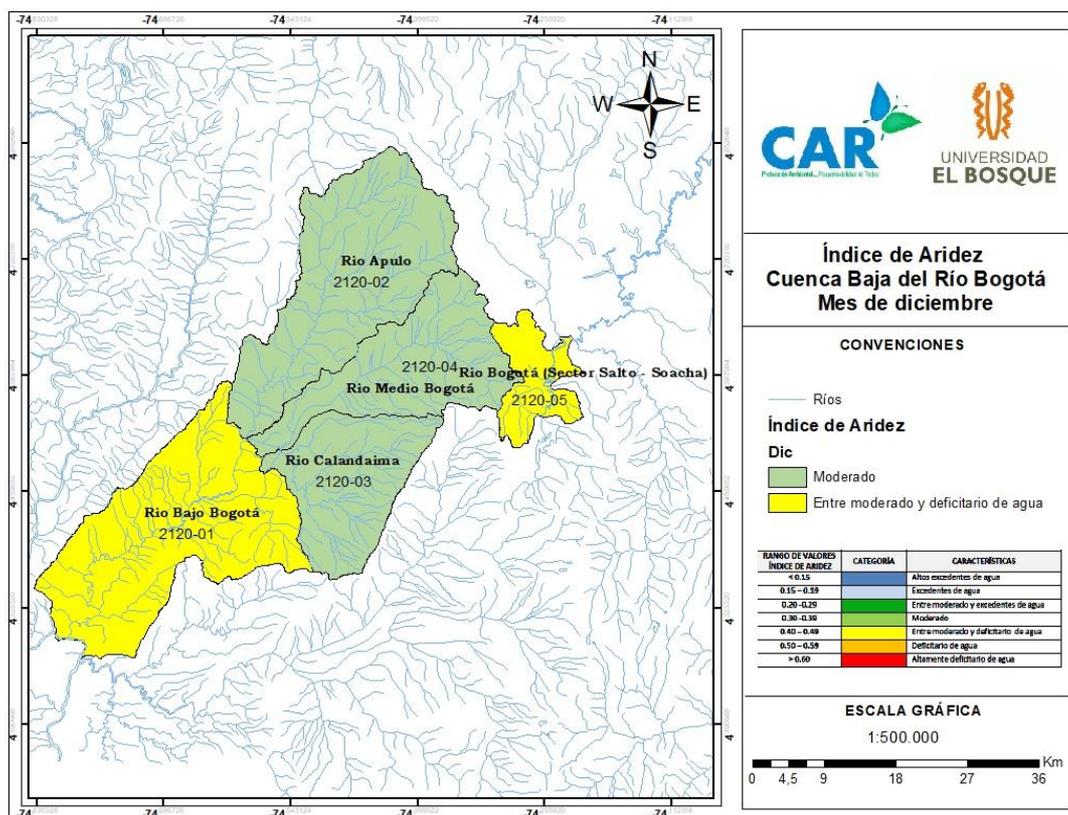


Figura 61. Índice de Aridez del mes de diciembre de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.9.3 Índice de Uso del Agua – IUA.

Para el cálculo de este indicador, se tuvo en cuenta la demanda y oferta hídrica superficial de las cinco subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá. Los datos de demanda hídrica son proporcionados por la Corporación Autónoma Regional-CAR y la oferta hídrica se determinó por la diferencia de los caudales medios mensuales de cada subcuenca con la demanda total en m^3/s , como se puede evidenciar en el Anexo 9. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en contraste con los hallados en la ERA 2014.

Tabla 75. IUA 2014 vs. IUA actual del Río Calandaima.

Cuenca 2120-03 Río Calandaima												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IUA	4	4	4	3	4	5	14	24	15	5	4	4
IUA 2014	68	82	73	54	56	73	101	109	109	75	55	56

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede observar una mejoría en el 100% de los meses del año con respecto al IUA del año 2014, haciéndose evidente que la demanda del agua es muy baja en relación con la oferta hídrica. Sin embargo, es importante recalcar, que, en ambos casos, los meses que presentan mayor presión sobre el recurso son julio, agosto y septiembre.

Tabla 76. IUA 2014 vs. IUA actual del Río Apulo.

Cuenca 2120-02 Río Apulo												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IUA	17	19	12	8	9	19	33	42	29	10	6	8
IUA 2014	58	64	39	17	21	60	91	101	96	28	11	32

Fuente: (Camelo,2018)

De acuerdo con la Tabla 78, la subcuenca del Río Apulo presenta una mejoría en cuanto al uso actual del agua, disminuyendo considerablemente la presión sobre el recurso hídrico desde el año 2014. Sin embargo, los meses que presentan mayores déficits de aguas siguen siendo los de julio, agosto y septiembre.

Tabla 77. IUA 2014 vs. IUA actual del Río Bajo Bogotá.

Cuenca 2120-01 Río Bajo Bogotá												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IUA	5	4	3	1	2	2	5	4	4	3	1	1
IUA 2014	24	19	12	3	2	9	15	16	5	4	4	18

Fuente: (Camelo,2018)

Se puede apreciar en la Tabla 79, que la subcuenca del Río Bajo Bogotá presenta una mejoría del 50% de los meses del año mientras que los meses restantes, se mantienen estables desde el estudio realizado en el 2014.

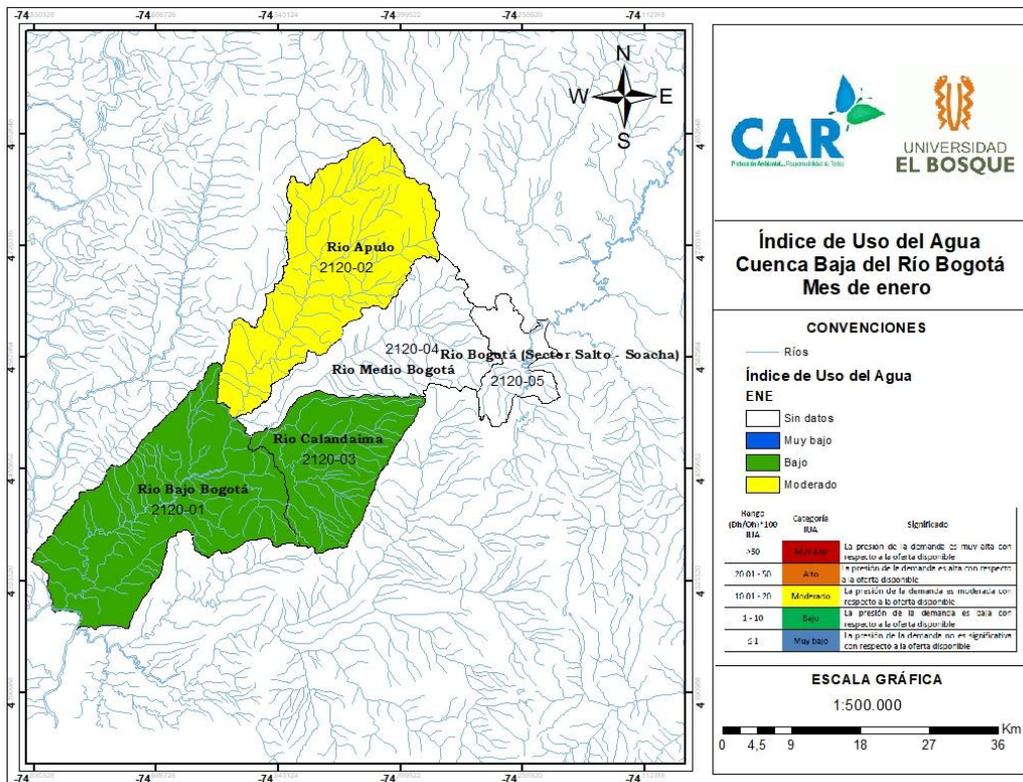


Figura 62. Índice de Uso del Agua del mes de enero de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

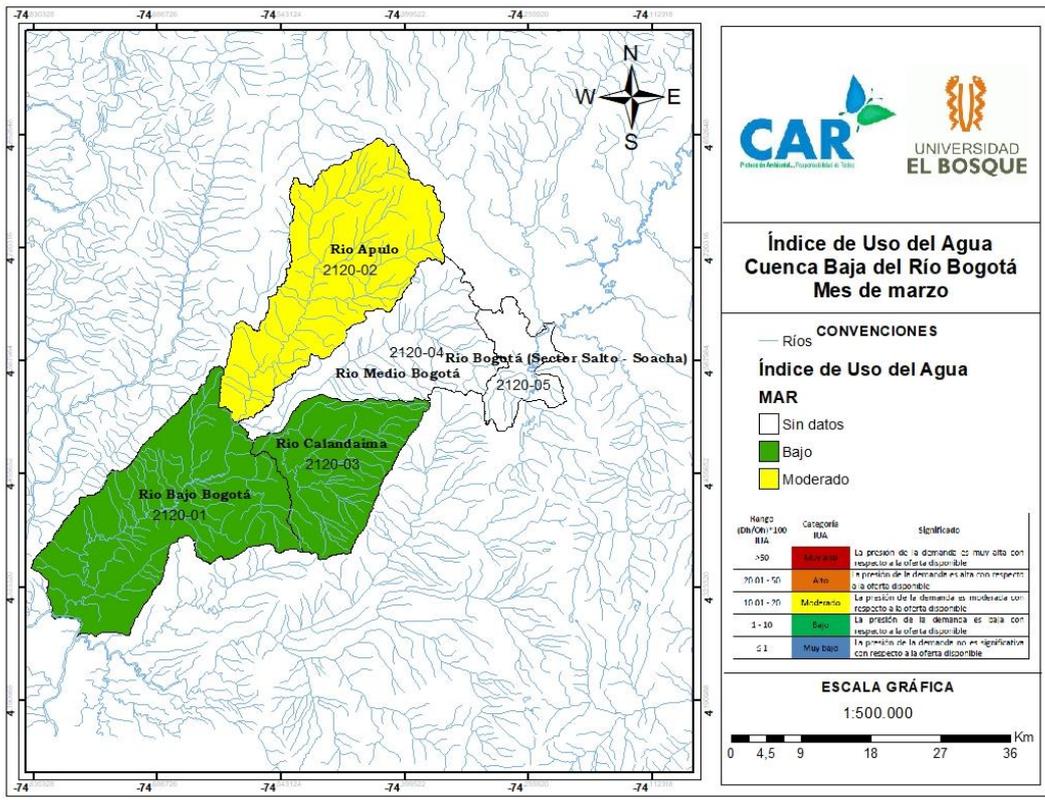
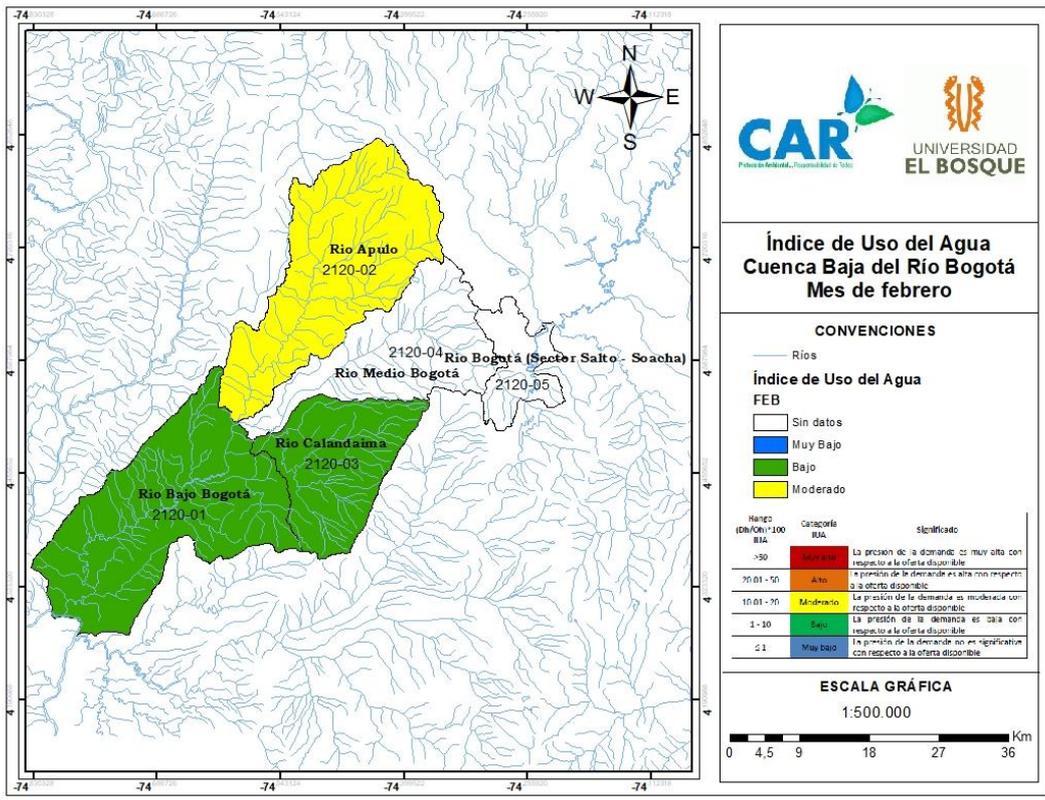


Figura 63. Índice de Uso del Agua (febrero-marzo) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

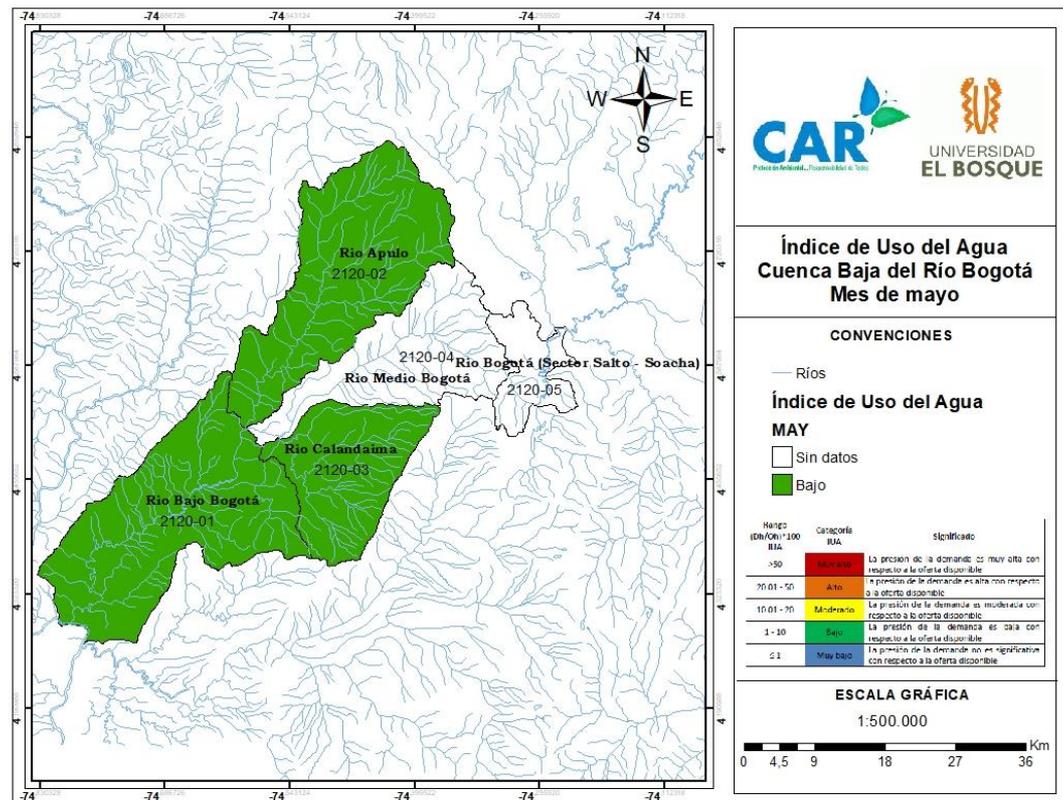
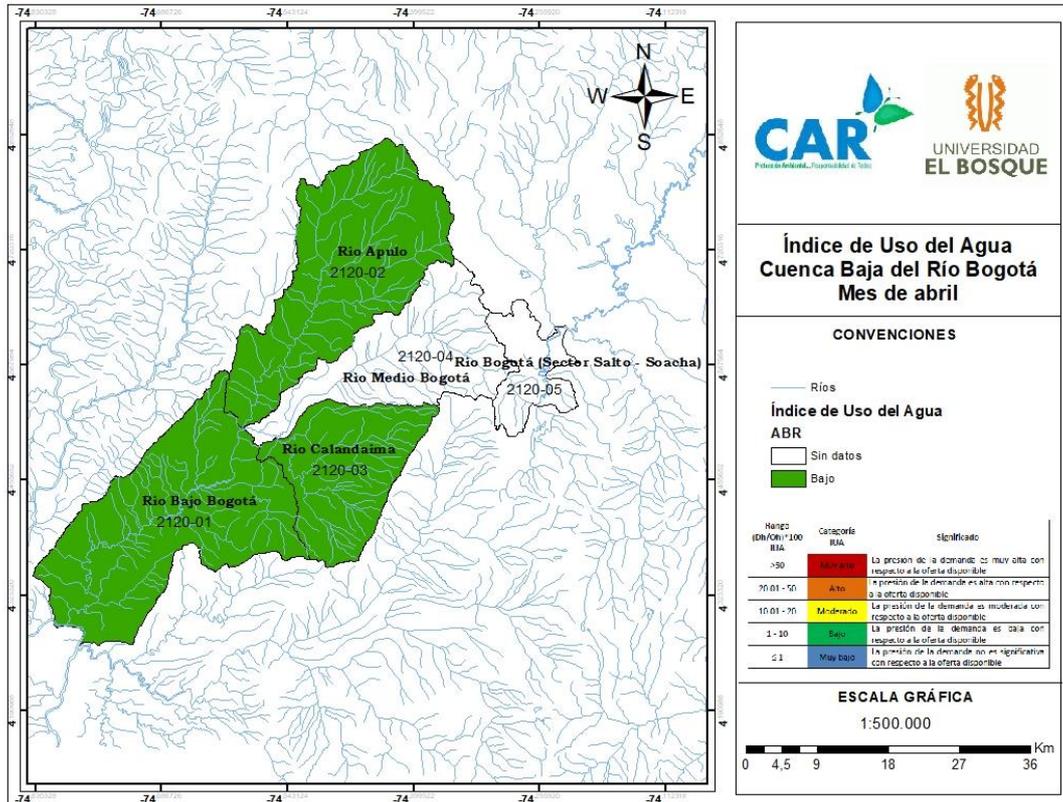


Figura 64. Índice de Uso del Agua (abril – mayo) de la Cuenca baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo, 2018)

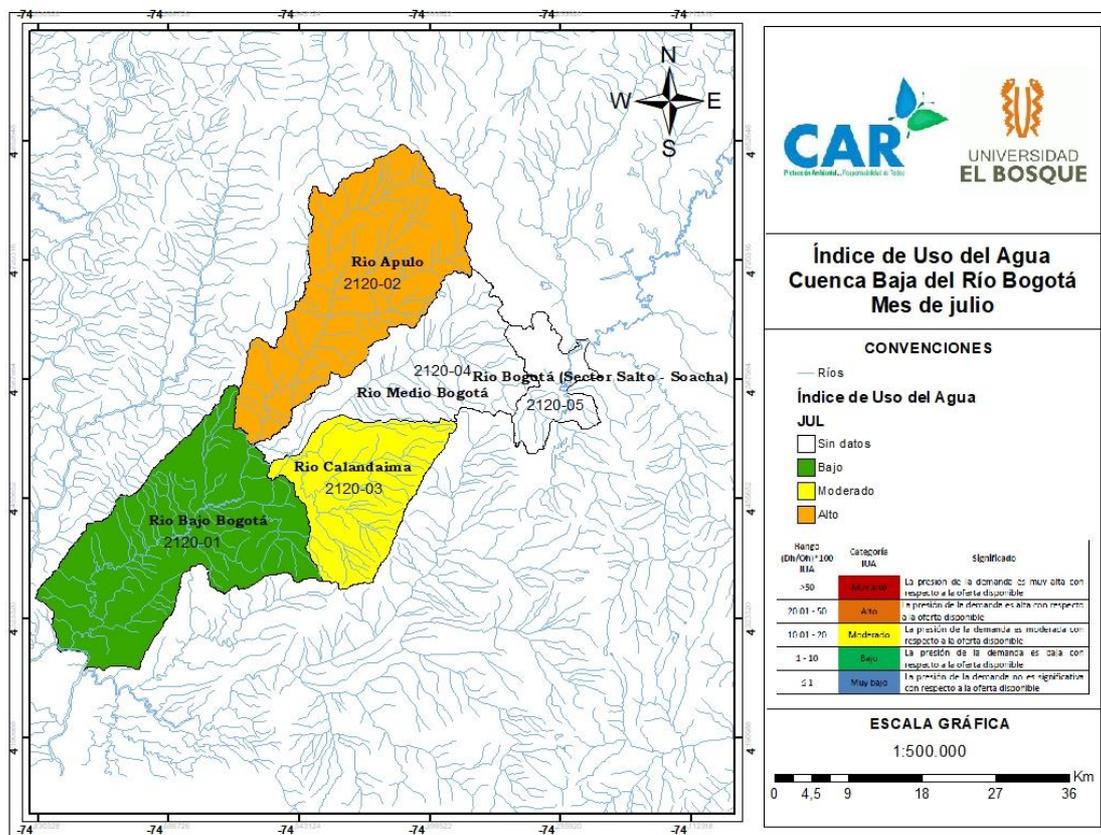
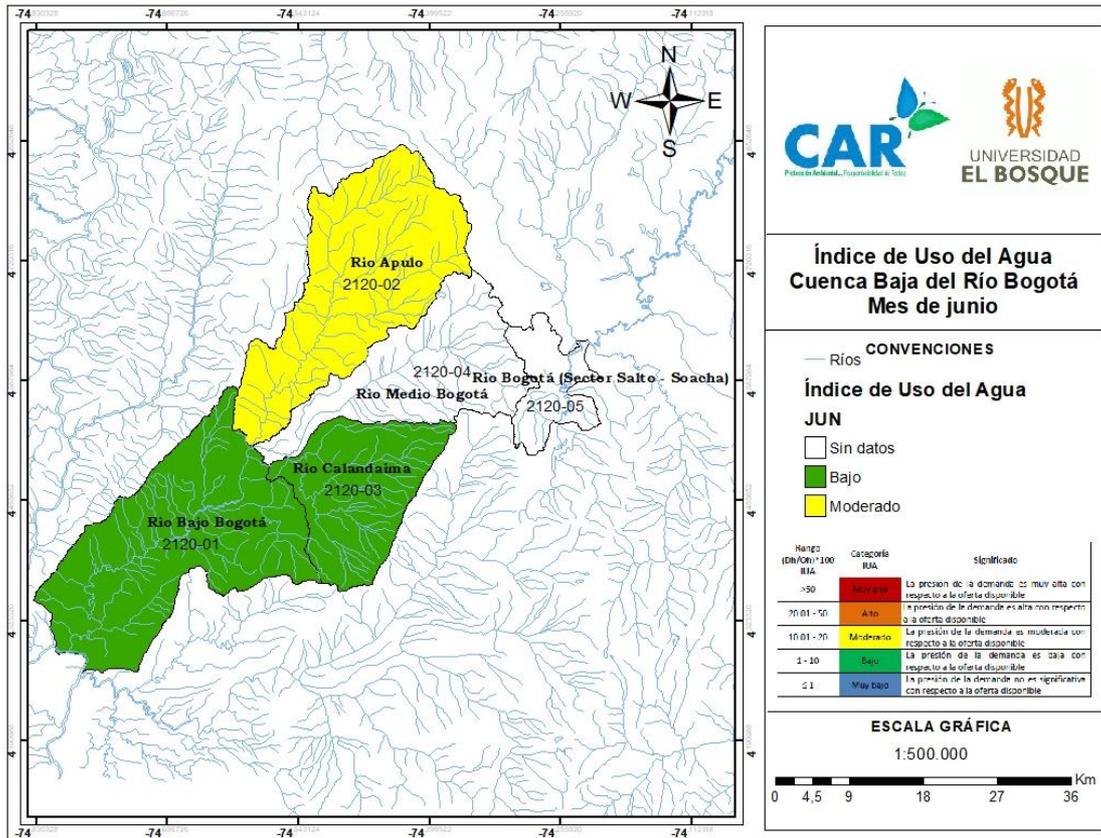


Figura 65. Índice de Uso del Agua (junio – julio) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

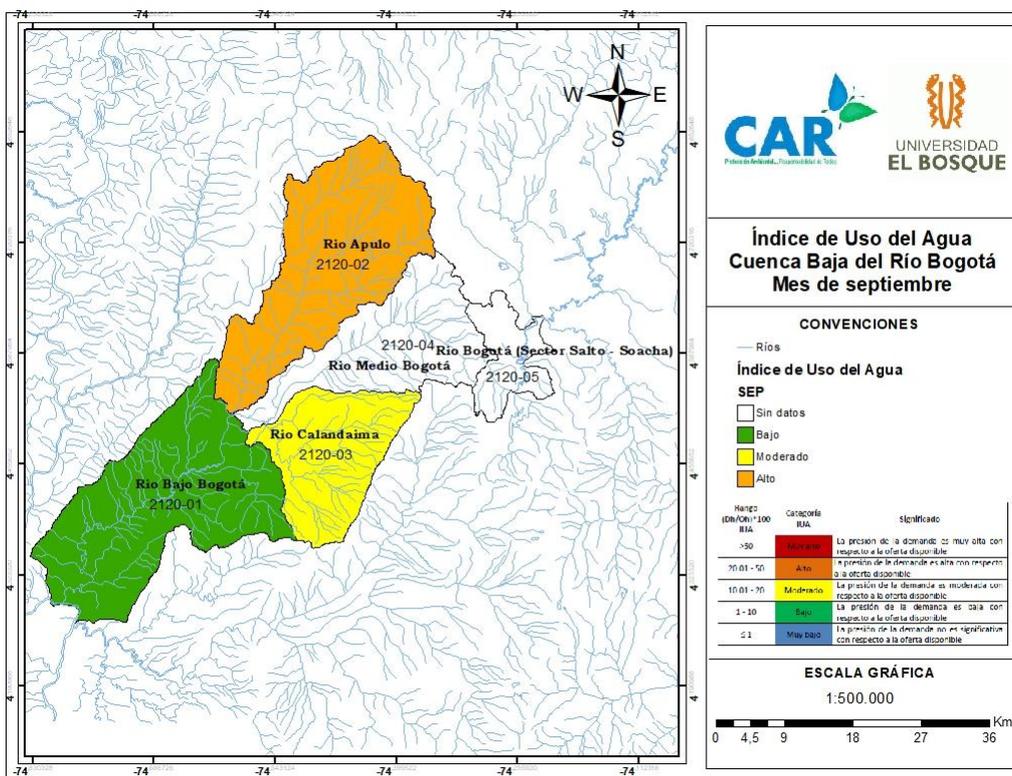
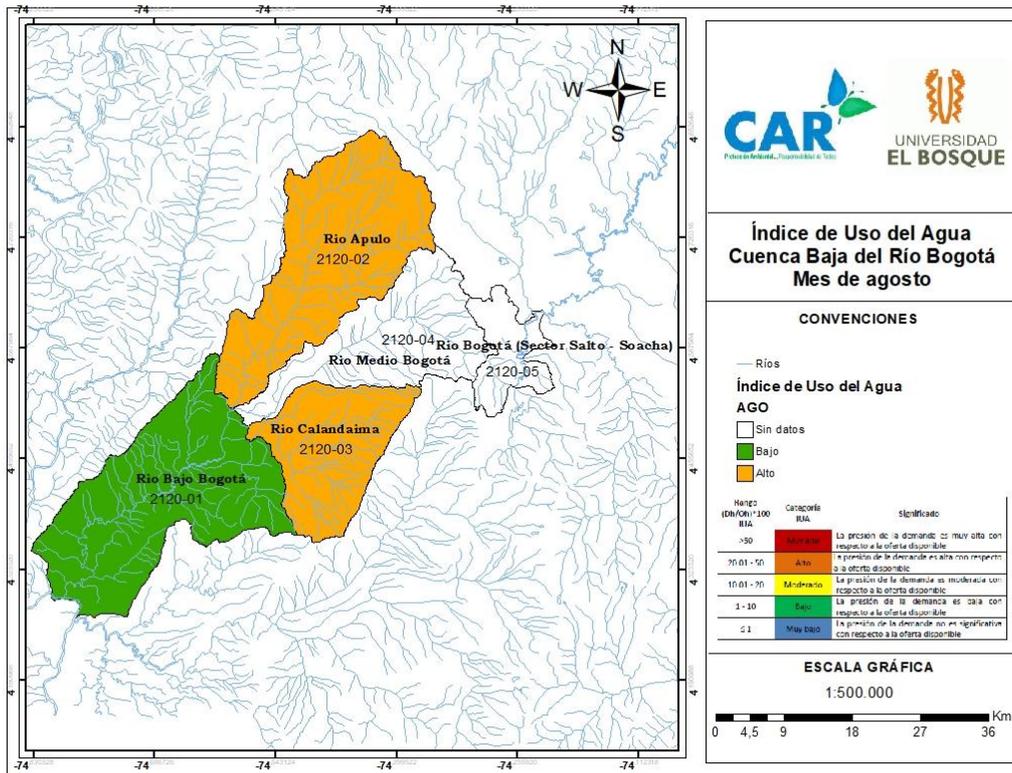


Figura 66. Índice de Uso del Agua (agosto – septiembre) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

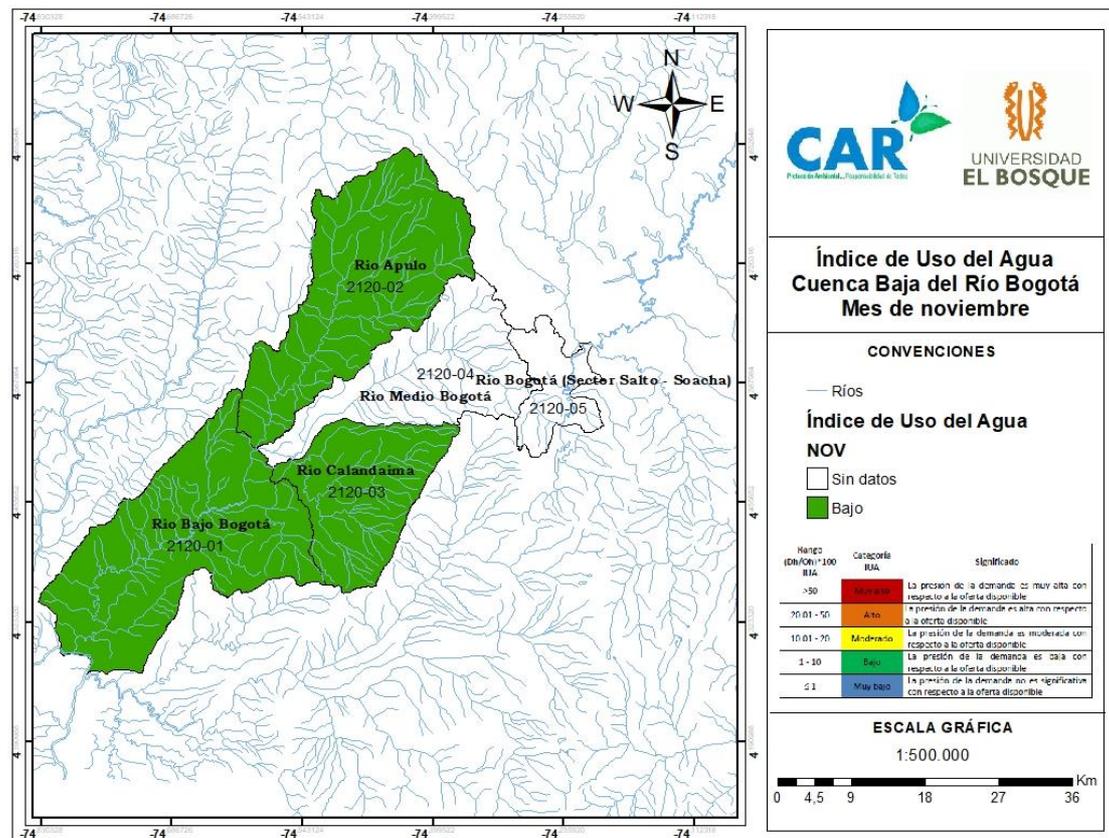
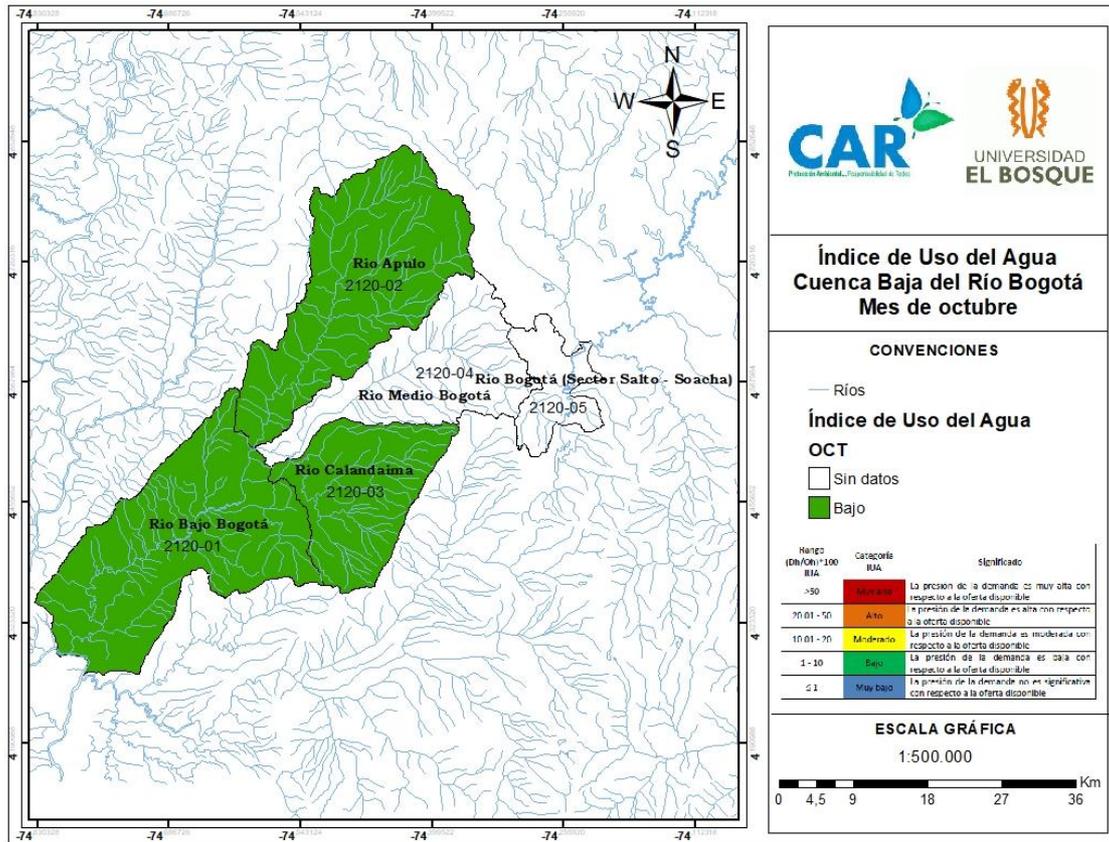


Figura 67. Índice de Uso del Agua (octubre – noviembre) de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

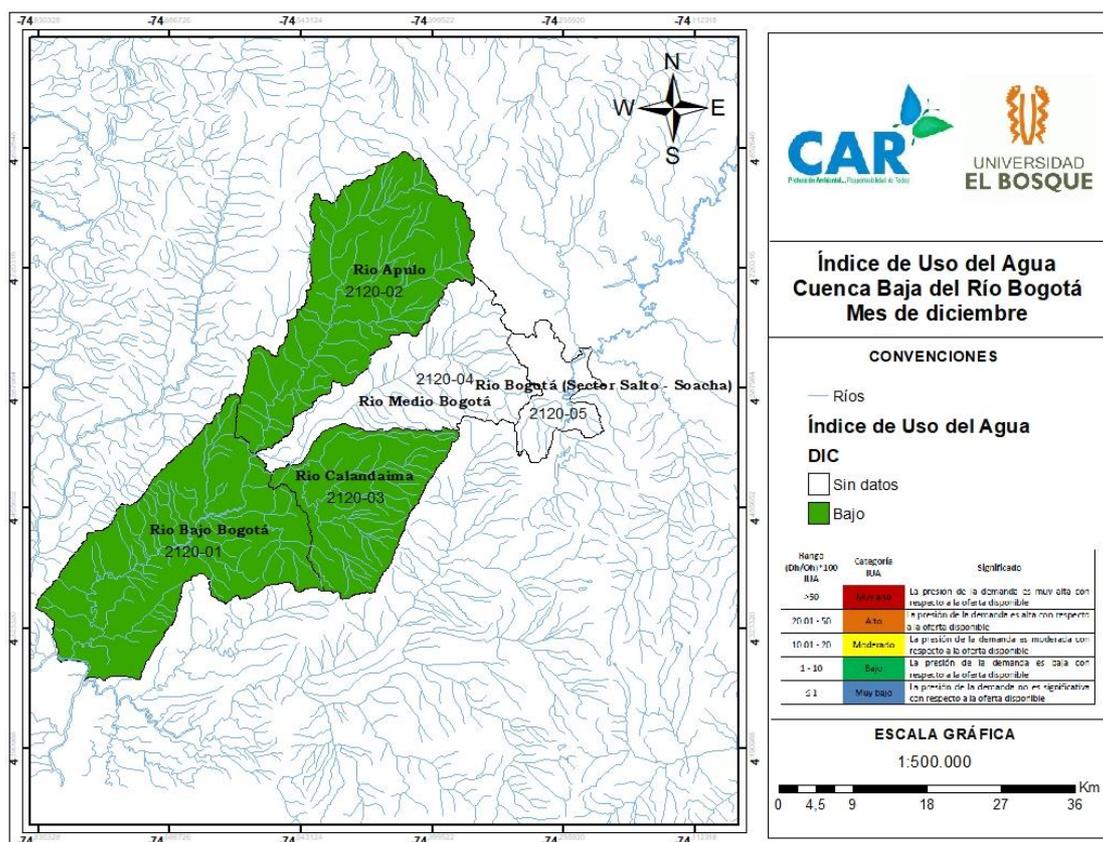


Figura 68. Índice de Uso del Agua de la del mes de diciembre Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

En la Tabla 80, se presenta el resumen del Índice de Uso del Agua – IUA por cada subcuenca de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Tabla 78. Índice de Uso del Agua – IUA de la cuenca Baja del río Bogotá.

CUENCA	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-01	Río Bajo Bogotá	5	4	3	1	2	2	5	4	4	3	1	1	3
2120-02	Río Apulo	17	19	12	8	9	19	33	42	29	10	6	8	18
2120-03	Río Calandaima	4	4	4	3	4	5	14	24	15	5	4	4	7

Fuente: (Camelo,2018)

En términos generales, se puede decir que la cuenca Baja del Río Bogotá se encuentra con excedentes de agua a lo largo del año, exceptuando la subcuenca del Río Apulo y Calandaima que en los meses de julio, agosto y septiembre se encuentran en moderada y alta presión de la demanda sobre la oferta hídrica. Con lo anterior, se espera que éstas subcuencas tengan una especial atención en los meses en los cuales es más propenso a sequías, para que la distribución y abastecimiento del recurso hídrico pueda hacerse sin contratiempos.

Es necesario recalcar que la diferencia significativa entre el IUA del 2017 con los resultados obtenidos en el 2014, se debe principalmente a que éstos últimos, fueron calculados a partir del modelo de pamlona SCS del año 2014 con una serie histórica de caudales hasta el año 2011, sumado a lo anterior, el modelo utilizado no se encontraba debidamente calibrado, por lo que los datos generados para ese año no son 100% confiables y acertados para realizar una comparación adecuada.

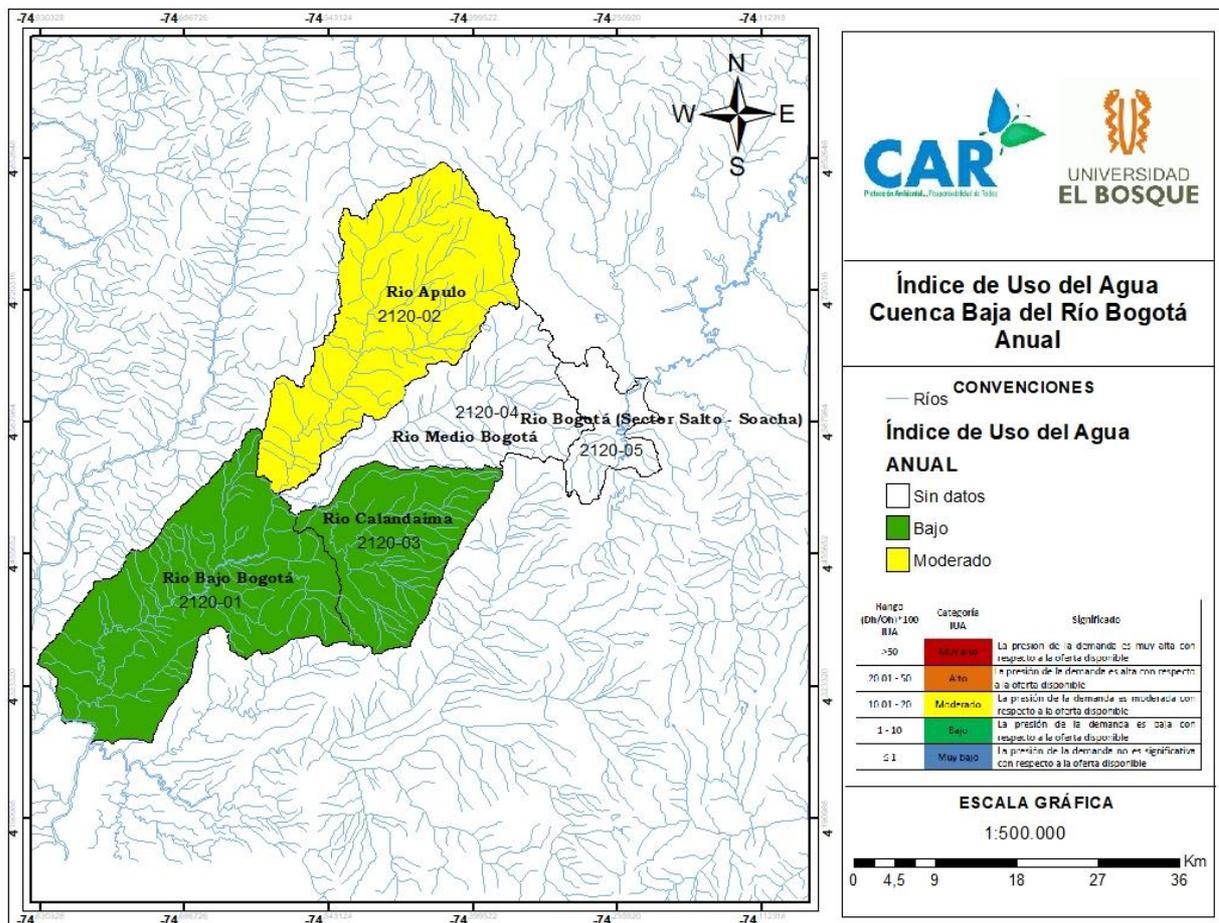


Figura 69. Índice de Uso del Agua anual de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.9.4 Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico (IVDH).

De acuerdo con la metodología planteada por el IDEAM, para calcular el IVDH se tienen en cuenta el Índice de Uso del Agua – IUA y el Índice de Retención y Regulación Hídrica – IRH, con el fin de identificar la vulnerabilidad que se está presentando en las subcuencas. El IVDH se calculó para las cinco subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá como se muestra en la Tabla 81, además se comparan los datos obtenidos con los encontrados en la ERA del 2014.

Tabla 79. Índice de Vulnerabilidad por Desabastecimiento Hídrico de la cuenca Baja del Río Bogotá.

CÓDIGO	SUBCUENCA	IRH (categorizado)	IUA (categorizado)	IVDH 2017	IVDH 2014
2120-01	Río Bajo Bogotá	MUY BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO
2120-02	Río Apulo	MODERADO	MODERADO	MEDIO	ALTO
2120-03	Río Calandaima	MODERADO	BAJO	BAJO	MEDIO

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en la Tabla 81, el IVDH mejoró en las subcuencas del Río Calandaima y Río Apulo, y se mantuvo estable en la subcuenca del Río Bajo Bogotá. En términos generales, la cuenca Baja del Río Bogotá tiene una vulnerabilidad por el desabastecimiento hídrico entre medio y bajo, lo cual se debe en gran medida al IUA que presenta la cuenca (bajo y moderado). Lo anterior quiere decir, que es probable que en épocas de estiaje o en eventos como el fenómeno del niño, haya desabastecimiento del recurso hídrico.

Es importante señalar, que a pesar de que los resultados obtenidos en el IVDH no sean críticos, hay que prevenir a futuro algún aumento del riesgo al desabastecimiento, esto debido, a que la variabilidad climática de la zona, el aumento de la población, la presencia de industrias y el bajo desarrollo tecnológico por parte de las mismas generaría un aumento en la demanda hídrica de la cuenca y por ende disminuiría la oferta del recurso para el abastecimiento de la población perteneciente a la cuenca Baja del Río Bogotá.

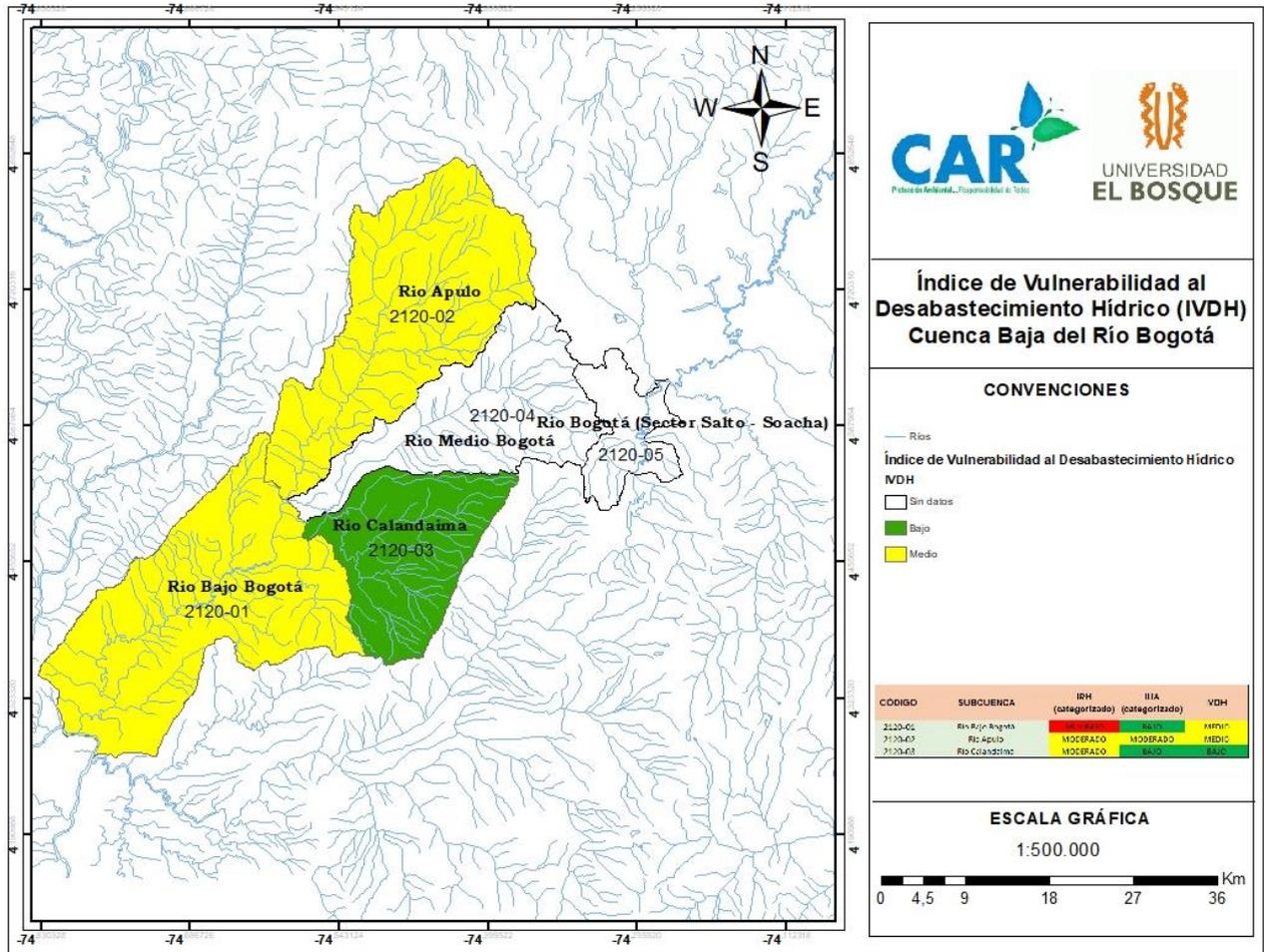


Figura 70. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento hídrico de la Cuenca Baja del Río Bogotá.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.10 Oferta Hídrica.

10.2.10.1 Oferta Hídrica Total Superficial – OHTS.

Para determinar la Oferta Hídrica Total Superficial- OHTS se toman los datos obtenidos a partir del Índice de Uso del Agua - IUA a través de los caudales medios mensuales de cada una de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá, como se observa en la Tabla 82.

Tabla 80. Oferta Hídrica Total Superficial (m^3/s) de la cuenca Baja del Río Bogotá.

OFERTA HÍDRICA TOTAL SUPERFICIAL (OHTS) (m^3/s)														
CUENCA	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-01	Río Bajo Bogotá	7,06	8,52	10,56	25,17	19,75	13,75	7,40	8,56	8,32	9,98	25,81	21,44	13,86
2120-02	Río Apulo	3,96	3,48	4,28	5,64	5,46	3,15	2,49	2,15	2,62	4,42	7,36	6,33	4,28
2120-03	Río Calandaima	3,35	3,64	3,57	4,30	3,79	2,86	1,27	0,81	1,13	2,55	3,40	3,64	2,86

Fuente: (Camelo,2018)

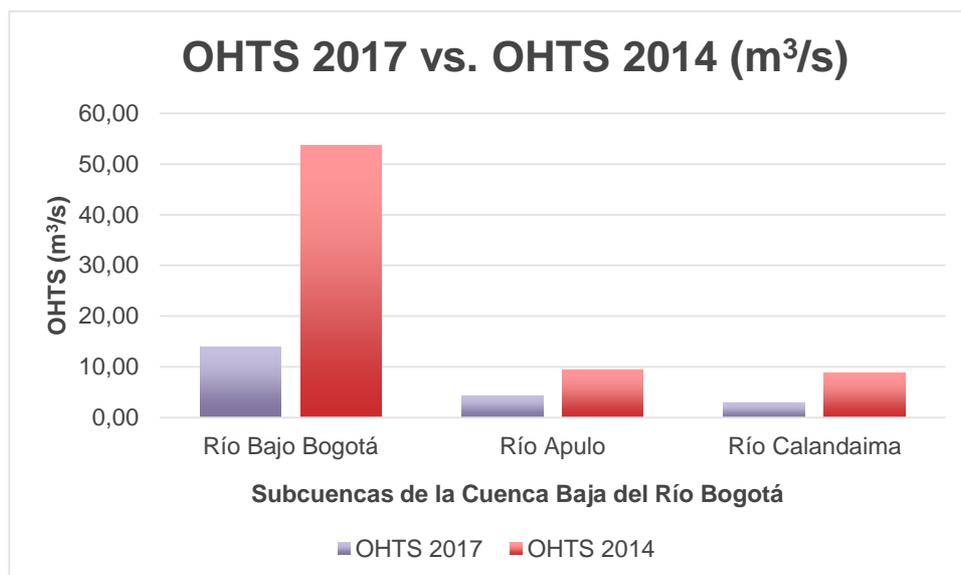


Figura 71. Oferta Hídrica Total Superficial 2017 vs. 2014.

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.10.2 Oferta Hídrica Total Disponible – OHTD.

Para determinar la Oferta Hídrica Total Disponible – OHTD, se tiene en cuenta los resultados obtenidos de la OHTS de las cada una de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá y se le resta el caudal ambiental al 25% del mes con menor OHTS. A continuación, se muestra el resultado (Tabla 83).

Tabla 81. Oferta Hídrica Total Disponible (m³/s) de la cuenca Baja del Río Bogotá.

OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE (OHTD) (m³/s)														
CUENCA	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-01	Río Bajo Bogotá	5,30	6,76	8,80	23,41	17,99	11,99	5,63	6,80	6,56	8,22	24,05	19,68	12,10
2120-02	Río Apulo	3,42	2,95	3,74	5,11	4,93	2,61	1,95	1,62	2,09	3,88	6,83	5,80	3,74
2120-03	Río Calandaima	3,15	3,44	3,37	4,10	3,59	2,66	1,07	0,61	0,93	2,35	3,20	3,44	2,66

Fuente: (Camelo,2018)

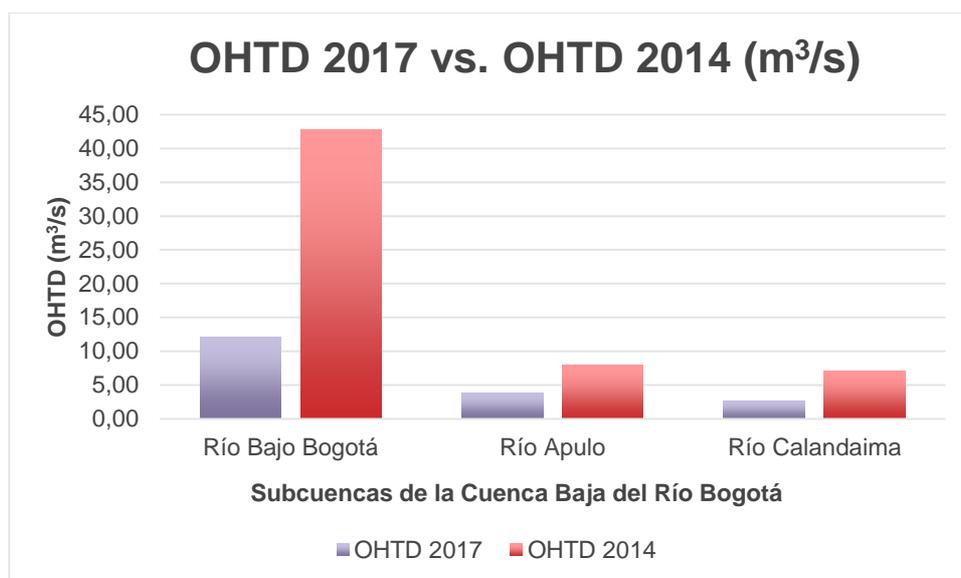


Figura 72. Oferta Hídrica Total disponible 2017 vs. 2014

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.10.3 Oferta Hídrica Regional Disponible – OHRD.

Para la estimación de la Oferta Hídrica Regional Disponible – OHRD, se suma la OHTD y el caudal de retorno, el cual, se estima a partir del 70% de la demanda doméstica. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 84.

Tabla 82. Oferta Hídrica Regional Disponible (m³/s) de la cuenca Baja del Río Bogotá.

OFERTA HÍDRICA REGIONAL DISPONIBLE (OHRD) (m³/s)														
CUENCA	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120-01	Río Bajo Bogotá	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,19	0,18	0,17
2120-02	Río Apulo	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
2120-03	Río Calandaima	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Fuente: (Camelo,2018)

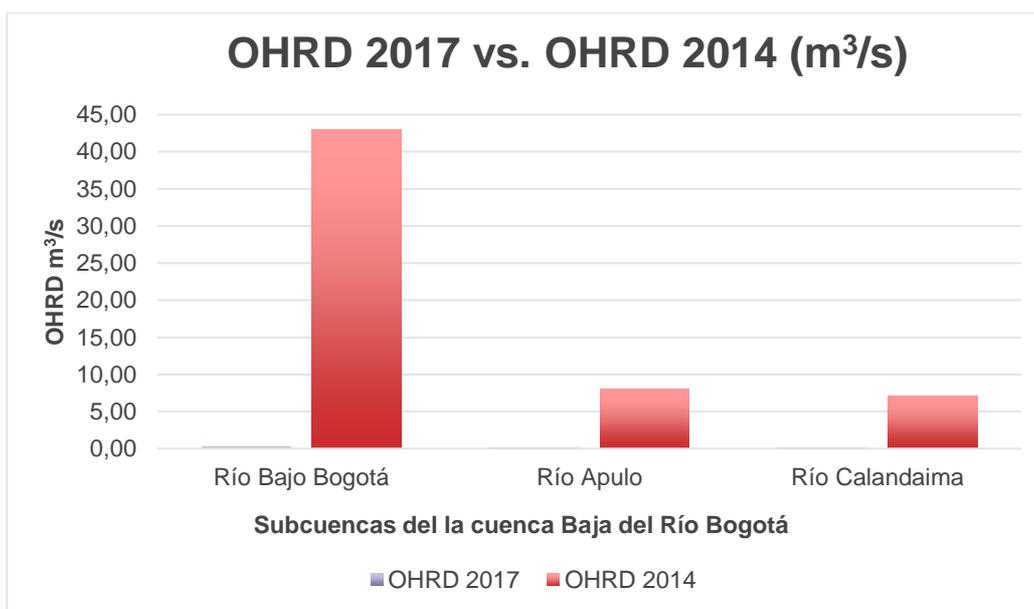


Figura 73. Oferta Hídrica Regional Disponible 2017 vs. 2014

Fuente: (Camelo,2018)

10.2.10.4 Oferta Hídrica Total Aprovechable – OHTA.

Para el cálculo de la Oferta Hídrica Total Aprovechable se toma la diferencia entre el volumen de agua promedio que se midió en la estación hidrométrica de referencia y el caudal ambiental. En la Tabla 85, se presenta la Oferta Hídrica Total Aprovechable – OHTA para cada una de las subcuencas de la cuenca Baja del Río Bogotá.

Tabla 83. Oferta Hídrica Total Aprovechable (m³/s) de la cuenca Baja del Río Bogotá.

OFERTA HÍDRICA REGIONAL APROVECHABLE (OHTA) (m³/s)					
CUENCA	Nombre	ESTACION	Q _{estación} (m³/s)	Q _{amb} (m³/s)	OHTA
2120-01	Río Bajo Bogotá	LA CAMPIÑA- EL PORTILLO	13,59	0,00	13,59
2120-02	Río Apulo	PTE APULO	3,77	0,95	2,82
2120-03	Río Calandaima	PTE SAMPER - MADRID	2,85	0,56	2,29

Fuente: (Camelo,2018)

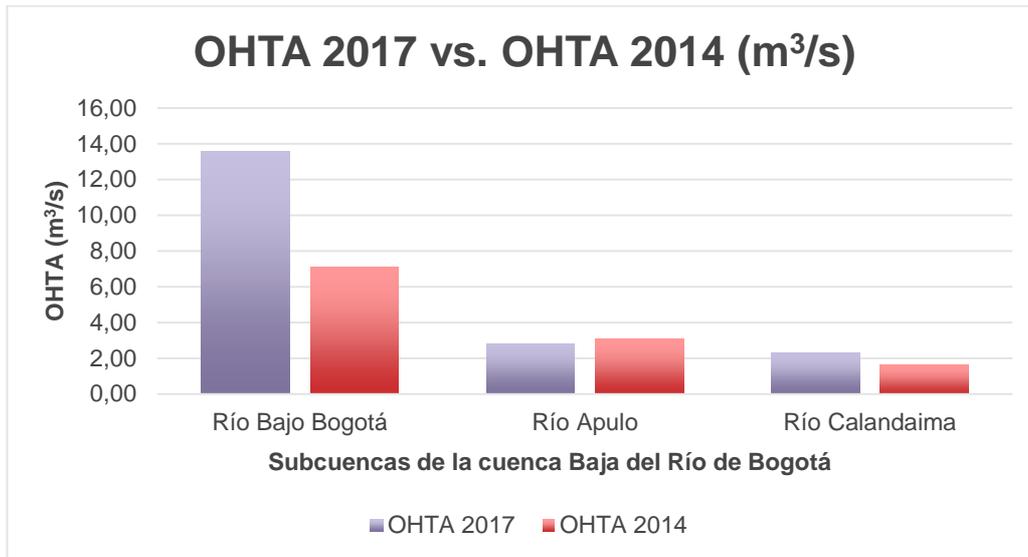


Figura 74. Oferta Hídrica Regional Aprovechable 2017 vs. 2014

Fuente: (Camelo,2018)

Como se puede observar en las Figuras 71 a la 74, el resultado en general de la oferta hídrica superficial de la cuenca Baja del Río Bogotá es menor en comparación con la oferta del año 2014, esto es debido a que el modelo usado en esta versión no tenía calibrados algunos datos de las subcuencas, por lo que los valores obtenidos no son aproximados a la realidad de la cuenca. Sumado a lo anterior, las demandas hídricas al ser actualizadas varían en comparación con las usadas en las del año 2014.

Para ver los cálculos realizados para la determinación de la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS), Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD), Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD) y la Oferta Hídrica Total Aprovechable (OHTA), remitirse al Anexo 10.

11. Conclusiones

El balance hídrico para la cuenca Media y Baja del Río Bogotá tiene un régimen hidrológico bimodal, con una concordancia en los períodos húmedos de los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre; y períodos secos de diciembre a febrero y junio a septiembre. Además, se estableció que la precipitación jugaba un papel fundamental para la determinación del balance hídrico, debido a que es directamente proporcional al resultado obtenido, teniendo a las Subcuencas del Río Negro y Río Bajo Bogotá con los valores más altos de precipitación.

Los indicadores hidrológicos superficiales permiten conocer el comportamiento actual de cada una de las subcuencas que hacen parte de la Cuenca Media y Baja del Río Bogotá, esto con el fin de tener las bases adecuadas para establecer planes de acción que permitan tener una gestión integral del recurso hídrico y se promueva un uso y manejo adecuado del mismo. Sin embargo, la insuficiente red de estaciones hidrometeorológicas de las cuencas trabajadas ha generado que subcuencas como Río Teusacá, Río Medio Bogotá y Río Bogotá (Sector Salto – Soacha) no puedan ser evaluadas y estudiadas en su totalidad para el desarrollo de este proyecto.

Debido a la ausencia de información por parte de las estaciones hidrometeorológicas, se hace uso del modelo SCS (Soil Conservation Service), el cual permite tener una aproximación del comportamiento actual de las subcuencas, sin embargo, la efectividad del modelo en relación con los resultados obtenidos por medio de las estaciones, difiere por no tener en cuenta valores de demanda totales y por falta de calibración del mismo.

El Índice de Regulación y Retención Hídrica nos provee información sobre el grado de retención del recurso hídrico en la cuenca abastecedora. La Cuenca Media presentó valores de IRH de categoría muy bajo y bajo con excepción de la subcuenca de Río negro, que tuvo un índice de regulación hídrica muy alto; en comparación con los resultados del IRH del 2014, solo disminuyó para el caso de la subcuenca de Río Balsillas, que pasó de muy alta a baja regulación hídrica. Para la Cuenca Baja la regulación hídrica disminuyó de alto a moderado y de moderado a muy bajo para las subcuencas de Río Calandaima y Río Bajo Bogotá respectivamente.

El Índice de Aridez para la Cuenca Media del Río Bogotá se mantiene entre moderado y con excedentes de agua en la mayoría de los meses del año, exceptuando el mes de enero el cual presenta mayores déficits de agua y se encuentra relacionado con la temporada seca del año. En comparación con el año 2014, la cuenca Media del Río Bogotá se encuentra estable en la mayoría de los meses del año, sin embargo, se evidencia el aumento de la precipitación en algunas de las subcuencas en comparación con la precipitada hace 4 años. Para la Cuenca Baja del Río Bogotá el Índice de Aridez permanece estable en la mayoría de las subcuencas en comparación con el IA del año 2014, las cuales se mantuvieron entre moderado y deficitario de agua, con un marcado déficit en los meses de julio y agosto.

En la Cuenca Media del Río Bogotá, el Índice de Uso del Agua pasó de alto a muy alto en la mayoría de las subcuencas en relación con el IUA del año 2014, además se tiene como distintivo el resultado de la cuenca del Río Negro, con un IUA moderado. Este resultado es correlacional con el aumento de población y de la demanda hídrica que los sectores industrial, agropecuario y doméstico están requiriendo para solventar cada una de sus actividades diarias. En cambio, la Cuenca Baja del Río Bogotá presentó una reducción considerable del IUA,

debido a que pasó de muy alto a bajo y moderado, lo anterior, es resultado de usar el modelo hidrológico para determinar caudales de cada una de las subcuencas evaluadas para el año 2014, donde no se tenía en cuenta la demanda ni se encontraban calibradas algunas subcuencas.

En cuanto al Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico, la Cuenca Media del Río Bogotá se mantuvo alto y muy alto con excepción de la subcuenca del Río Negro con un IVDH medio. Para la Cuenca Baja del Río Bogotá el IVDH se mantuvo bajo y moderado a excepción de la subcuenca del Río Apulo que pasó de alto a medio con respecto a los valores obtenidos del IVDH del 2014.

En términos generales la oferta hídrica superficial de la Cuenca Media del Río Bogotá disminuyó en relación con la oferta del año 2014, la cual se ve evidenciada en el aumento del IUA, donde la demanda prevaleció por encima de la oferta. En cuanto a la Cuenca Baja del Río Bogotá la oferta hídrica disminuyó en el año 2017, resultado obtenido por el uso de modelo hidrológico para el año 2014, donde no se tuvieron en cuenta los valores de demanda hídrica para cada una de las subcuencas.

El proyecto permite implementar las metodologías establecidas en las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA) para la determinación de la oferta hídrica superficial de la Cuenca Media y Baja del Río Bogotá. Además, posibilita la incorporación de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería ambiental, en cuanto a Hidrología, Meteorología y Climatología, SIG, Cartografía y Estadística.

Los resultados obtenidos a partir del estudio de la oferta hídrica superficial de la Evaluación Regional del Agua (ERA) de la Cuenca Media y Baja del Río Bogotá, proporciona la información necesaria para que la Corporación Autónoma Regional mejore la toma de decisiones acerca del uso y manejo adecuado del recurso, además de establecer las medidas de prevención y mitigación que fomenten la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

12. Recomendaciones

Para mejorar el estudio y conocimiento de las subcuencas de la Cuenca Media y Baja del Río Bogotá, es debido implementar estaciones hidrometeorológicas en puntos estratégicos que puedan aportar la información necesaria para la determinación oportuna de la oferta hídrica superficial de cada una de las subcuencas. Estos puntos estratégicos deberán priorizarse para las zonas donde hay ausencia de estaciones, como lo son las subcuencas del Río Teusacá, Río Negro y Río Soacha para la Cuenca Media y Río Medio Bogotá y Río Bogotá (Sector Salto – Soacha) para la Cuenca Baja, además de procurar que los puntos de control hidrológico se encuentren en el cierre de cada subcuenca, para que de esta forma se pueda mejorar la precisión de los datos suministrados por las mismas y calibrar el modelo Soil.

Es necesario optimizar las herramientas que contribuyen al suministro de información de las subcuencas, como lo son los modelos hidrológicos y en este caso específico el Modelo SCS Soil, debido a su falta de calibración en algunas de las subcuencas. Lo anterior, con el fin de mejorar las predicciones realizadas con el mismo y así, disminuir la incertidumbre que generan los resultados obtenidos.

Se recomienda fortalecer las relaciones entre la CAR, IDEAM y EAB, de tal forma que se puedan establecer convenios en los cuales se fomente la integración y suministro de información, con el fin de contribuir al desarrollo de estudios como lo son las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA) y así, proporcionar datos oportunos que puedan ser usados para la planificación y manejo integrado del recurso hídrico.

Tener en cuenta los resultados obtenidos en este estudio, para la formulación y actualización del POMCA, PORH y del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de los municipios que conforman la cuenca Media y Baja del Río Bogotá, para que la toma de decisiones acerca del uso y manejo adecuado del recurso sea óptimo y se fomente una Gestión Integral del Recurso Hídrico en cada una de las subcuencas que lo constituyen.

Establecer en la CAR una red integrada de información acerca del recurso hídrico, para mejorar la adquisición y consulta de series de precipitación y caudales, estudios e investigaciones realizadas de cada subcuenca en jurisdicción de la Corporación, para así, optimizar los tiempos de entrega de cada uno de los estudios, debido a que la obtención de información requiere de un período de espera.

Mantener y renovar el convenio estratégico entre la CAR y la Universidad el Bosque, para que estudiantes de último semestre de ingeniería tengan la oportunidad de aplicar sus conocimientos en el área del recurso hídrico y adquirir nuevas competencias en el campo, en compañía de profesionales de la CAR.

Bibliografía

- Alcaldía de Bogotá. (2 de Agosto de 2012). *Decreto 1640 de 2012*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=49987>
- Alfonso, P. (2016). *Determinación de la oferta hídrica superficial de la cuenca del río Machetá Cundinamarca, como parte de la Evaluación Regional del Agua (ERA)*. Bogotá: Universidad el Bosque.
- CAR. (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá*. Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac24aeabc81c.pdf>
- Costa, C., Domínguez, E., Rivera, G., & Vanegas, R. (2005). El índice de escases de agua ¿Un indicador de crisis ó una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico? *Revista de Ingeniería*, 104-111.
- Delgadillo, A., & Moreno, A. (2008). *Morfometría de cuencas* . Obtenido de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/MORFOMETR%CDA%20DE%20CUENCAS.pdf>
- Empresa de Acueducto de Bogotá. (2013). *Metodología para la Evaluación Regional del Agua* . Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10753&shelfbrowse_itemnumber=11311.
- Espinoza, S., & Custodio, E. (2016). Estimación de la escorrentía superficial para el cálculo de la recarga a los acuíferos del macizo kárstico de los Ports de Beseit (Tarragona, España) combinando balance de agua en el suelo y análisis de hidrogramas de caudales. *Estudios Geológicos*, Vol 72 No. 1.
- FAO. (2013). *Identificación de potenciales nuevas áreas de regadío y áreas de riego complementario en las cuencas de la zona nordeste de Argentina*. Argentina: Instituto Nacional del Agua.
- Franco, O., García, M., & Vargas, O. (2010). Marco Conceptual. En IDEAM, *Estudio Nacional del Agua* (págs. 36-41). Bogotá D.C.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, I., & Besteiro, S. (22 de Mayo de 2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del Río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.
- Gómez, S., Martínez, J., Soriano, A., Ariegui, L., & Caballero, J. (Mayo de 1999). *ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES EN LOS TERRENOS DE LA ORLA SUDOESTE DE SUELO URBANIZABLE*. Obtenido de Universidad de Zaragoza: <https://www.zaragoza.es/contenidos/urbanismo/pgouz/memoria/anejos/anejo03/anejo031.pdf>
- Huertas, J. (2016). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y AMENAZA DE LOS SISTEMAS HÍDRICOS NATURALES EN EL MARCO DE LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RIO SUMAPAZ, JURISDICCIÓN CAR*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4599/1/HuertasUrregoErickJefrey2016.pdf>
- Hurtado, A., & Mesa, Ó. (2015). Cambio climático y variabilidad espacio-temporal de la precipitación en Colombia . *EIA*, 131-150.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Obtenido de Universidad Politecnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá D.C.

- IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua-ERA*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2014). *Antecedentes del desarrollo de indicadores ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/antecedentes>
- IDEAM. (2014). *Estudio nacional del agua*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- Jaramillo, A., & Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé*, 102-113.
- Jaramillo, S., Molina, F., & Betancur, T. (2011). Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de CORANTIOQUIA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 33-46.
- Lasso, P. (2017). *Actualización de la oferta hídrica superficial de las subcuencas del Río Blanco-Sector La Calera, como parte de la Evaluación Regional del Agua (ERA)*. Bogotá D.C: Universidad el Bosque.
- Lemus, N. (2017). *Actualización de la oferta hídrica superficial de la cuenca alta del río bogotá como parte de la evaluación regional del agua (ERA)*. Bogotá: Universidad el Bosque.
- Lux, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Marin, J. (1993). Balance Hídrico e Hidrológico de la Cuenca Media del Río Gallego . *Geographicalia*, 243-257.
- MAVDT. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Prese ntaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- Maya, E. (2014). *Métodos y técnicas de investigación*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- MINAMBIENTE. (16 de Enero de 2014). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>
- Montealegre, J. (20 de Agosto de 2014). *Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico*. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Actualizacion+Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o++La+Ni%C3%B1a.pdf/02f5e53b-0349-41f1-87e0-5513286d1d1d>
- Moreno , F., & Esquivel, R. (2015). *ESTUDIO MORFOMETRICO DE LA CUENCA DEL RIO AZUL, AFLUENTE DEL RIO CALIMA, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas : <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2126/1/MorenoGrandeFredyAlberto2015.pdf>
- Osorio, S., & López, M. (2015). *ANÁLISIS DE LA OFERTA HÍDRICA DE LAS VEREDAS EL CHUSCAL Y LA MANCHA QUE PERTENECEN A LAS MICROCUENCAS RÍO MONOS EN EL SECTOR DESEMBOCADURA-EL CHUSCAL Y DE LA*

MICROCUEENCA CUBACHONTADURO UBICADAS EN EL MUNICIPIO DE BALBOA, RISARALDA. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

- Palacio, J. (2018). *Constitución Política de Colombia* . Obtenido de <http://www.constitucioncolombia.com/historia.php>
- Penagos, G. (2014). Variables hidrometeorológicas asociadas al cambio climático en Girardot y la Región del Alto Magdalena. *Ambiente y Desarrollo*, 133-147.
- Pereyra, D., Cruz, G., & Agustín, J. (2011). *La Evapotranspiración Real (ETR) en la cuenca del río La Antigua, Veracruz: estado actual y ante escenarios de cambio climático.* Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112011000200004
- Posada, C. (2007). *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua* . Bogotá: IDEAM.
- Robayo Gutiérrez, S. W., & Niño Parra, H. (2017). *Evaluación Regional del Agua-ERA Río Cuenca Media Bogotá.* Bogotá: CAR.
- Robayo, S. (2017). *Morfometría Cuenca Baja Río Bogotá.* Bogotá: CAR.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación.* Mexico D.F.: McGraw-Hill.
- Sánchez, J. (6 de Enero de 2001). *Evapotranspiración.* Obtenido de <https://fjerrer.webs.ull.es/Bibliog/Biblio/Evapotranspiracion.pdf>
- Secretaría de Hacienda. (2018). *Descripción de los tramos del Río Bogotá.* Obtenido de <https://www.institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/0112111.htm>
- Senciales, J. (1995). El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. *Universidad de Málaga*, págs. 155-183.
- Serna, C. A., Vélez, O., & Londoño, A. (2016). Cambio climático, balance hídrico y eficiencia energética en algunas estaciones climáticas en Colombia. *Espacios*, 7-11.
- Troyo, E., Mercado, G., Cruz, A., Nieto, A., Valdez, R., García, L., & Murillo, B. (2014). Análisis de la sequía y desertificación mediante índices de aridez y estimación de la brecha hídrica en Baja California Sur, noroeste de México. . *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 66-81.
- UNESCO. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico.* Madrid: Copyright. Obtenido de Guía internacional de investigación y métodos.

