

Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Rio Botello ubicado en el municipio de Facatativá

Jizeth Hael González Ramírez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental
Bogotá, Colombia
2017

Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Rio Botello ubicado en el municipio de Facatativá

Jizeth Hael González Ramírez

Proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Tecnología en saneamiento ambiental

Director:

M.Eng. Andrea Viviana Yate Segura

Co - director:

M.Eng. Diana Marcela Fúquene

Línea de investigación:

Gestión Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental
Bogotá, Colombia

2017

“Primero, fue necesario civilizar al hombre en su relación con el hombre. Ahora, es necesario civilizar al hombre en su relación con la naturaleza y los animales.” Víctor Hugo (1802-1885)

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Abierta y A Distancia – UNAD por haberme brindado la oportunidad de acceder al programa y de haber dispuesto los espacios y recursos para llevar a cabo mi desarrollo académico, de igual manera a todos los tutores implicados en el proceso que de modo directo o indirecto me ayudaron a fortalecer las bases cognoscitivas para culminar este proceso.

A mí estimada directora de proyecto, la Ingeniera Andrea Viviana Yate Yate por haber confiado en mis capacidades, por las jornadas dedicadas a brindarme su apoyo, compartir sus conocimientos y respaldo en cada una de las fases desarrolladas para lograr este producto.

A la Ingeniera Diana Marcela Fúquene Yate y a la tutora Luz Nidia Gómez Luna por la consolidación del semillero de investigación que abrió paso a mi proyecto y que me brindaron su apoyo en el proceso desde los primeros pasos.

A mis padres, Pablo Giovanni González López y Alejandra Ramírez Posada por formarme a lo largo de los años con valores y ayudarme a ser la persona que soy hoy, por alentarme a luchar por mis sueños, por enseñarme que estos se cumplen con trabajo, que las metas se alcanzan con esfuerzo y dedicación y por brindarme su apoyo incondicional bajo cualquier circunstancia.

A mis hermanas Alejandra González Ramírez y Paula Astrid González Ramírez, por su apoyo moral, por llenar mi vida de alegría y ánimo en los momentos en los que más los he necesitado, así como el acompañamiento en los momentos más difíciles, por alentarme a construir el camino que me lleva al logro de todos mis objetivos sin esperar nunca nada a cambio.

A mis amigos y colegas Shirlei Stefani Plaza Farfán y Julio Alberto Novoa Campos por estar conmigo afrontando los retos de la vida académica y personal, por compartir sus conocimientos, por brindarme su apoyo incondicional para culminar este proceso y por ser parte del logro que este proyecto representa para mí.

Y por sobre todas las cosas, a Dios por haberme dado la vida, por haberme guiado por el camino correcto, por darme unos años llenos de aprendizaje, experiencias, felicidad e iluminarme con personas que me aportaron fortaleza y ganas de seguir adelante.

Resumen

El proyecto de evaluación de indicadores de calidad (ICA) e índices de contaminación (ICO) en la microcuenca del Río Botello ubicado en el municipio de Facatativá se formuló como un planteamiento de métodos de identificación y análisis de factores físicos, químicos y biológicos en puntos claves de vertimientos, resultantes de actividades de desarrollo social y económico tanto en el sector rural como urbano del municipio, que permitieron establecer las condiciones del recurso hídrico y a su vez el fortalecimiento de bases teóricas para la implementación de proyectos de gestión y mejora de los recursos influenciando positivamente la biocenosis de la zona a futuro.

Para cumplir con el objetivo se ejecutaron fases en cadena iniciando con un proceso de revisión bibliográfica sobre el recurso y sus estudios previos, así como de los procesos de análisis de indicadores de calidad y contaminación ejecutados por el municipio; como segunda fase se ejecutaron visitas de observación directa, de levantamiento de información con los integrantes de la secretaría de obras públicas del municipio y la alcaldía, respectivamente, con el resultado de las observaciones directas se sentarán precedentes de comparación de las actividades y objetivos del uso de agua frente a datos oficiales y otros estudios de agua facilitados por la Empresa Aguas de Facatativá, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios SAS ESP.

De este modo, se consolida el resultado del sistema de indicadores hídricos de intervención antrópica para la microcuenca alta de uno de los ríos que abastece el municipio de Facatativá, denominado Río Botello y sus actividades agropecuarias en la zona rural, así como de la microcuenca baja que transporta las aguas residuales de las actividades domésticas e industriales de la zona urbana.

Con los resultados obtenidos se logró establecer que la calidad del agua no es óptima para captación y consumo humano, así como tampoco para actividades pecuarias (bebederos), de igual modo se determinó que no cumple con los requisitos de vertimientos al poseer

altos niveles de coliformes fecales, totales, bajos índices de oxígeno disuelto lo que impide el desarrollo de especies acuáticas como peces mientras favorece el crecimiento de otras especies como las macrófitas que afectan las condiciones del agua y los aspectos ambientales, sociales y económicos del municipio.

Por otro lado, se logró establecer de un modo indirecto el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y sus porcentajes de remoción de contaminantes presentes en el cuerpo hídrico en relación directa con la calidad de dicha agua captada y vertida.

Palabras claves: *indicadores de calidad, indicadores de contaminación, desarrollo económico, calidad del agua, parámetros fisicoquímicos.*

Abstract

The Project of evaluation of Water Quality Index (WQI) and water contamination index (WCI) in the Micro-watershed of the Botello River located in the municipality of Facatativá was formulated as an approach of methods of identification, sampling and analysis of physical, chemical and biological factors in key shedding points, resulting from social and economic development activities in the rural and urban sectors of the municipality, which allowed the establishment of water resource conditions and, in turn the strengthening of theoretical bases for the implementation of management and improvement projects for the resources that are positively influencing the biocenosis of the area in the future.

In order to comply with the objective, a chain process was carried out, starting with a process of bibliographic review on the resource and its previous studies, as well as the processes of analysis of quality and pollution indicators implemented by the municipality; as a second phase were carried out direct observation visits, information gathering with the members of the public works secretariat of the municipality and the mayoralty respectively in order to be able to establish points of comparison between what happened in the reality and daily life of the municipality and the data Obtained during the investigation.

With the results obtained it was possible to establish that the quality of the water is not optimal for human intake and consumption, nor for livestock activities (waterers), also was it determined that it does not comply with the requirements of discharge by having high levels of coliforms fecal, total and low dissolved oxygen indices that prevent the development of aquatic species such as fish while favoring the growth of other species such as macrophytes that affect water conditions and environmental, social and economic aspects of the municipality.

On the other hand, it was possible to indirectly establish the operation of the wastewater treatment plant (WWTP) and its percentages of removal of pollutants present in the water body in direct relation to the quality of the water abstracted and discharged.

Key words: *quality indicators, contamination indicators, economic development, water quality, physicochemical parameters.*

Contenido

Lista de figuras.....	IX
Lista de tablas	X
Lista de mapas	XII
Lista de Anexos.....	XIII
Facatativá.....	3
1.1. Geografía.....	3
1.2. Hidrografía.....	4
1.3. Población y Economía	8
1.3.1. Población.....	8
1.3.2. Economía	12
Planteamiento del problema.....	19
1.4. Objetivos.....	20
1.4.1. General.....	20
1.4.2. Específicos	20
1.5. Metodología.....	21
Aspectos considerados para la evaluación.....	27
2.1. Reconocimiento de la zona intervenida	27
2.2. Establecimiento puntos de interés	28
Monitoreo calidad de agua	37
3.1. Determinación de parámetros.....	40
4. Determinación de Índices	45
4.1. Cálculo del ICA.....	47
• Variable (Subíndice) oxígeno disuelto (OD)	52
• Variable (subíndice) Solidos Suspendidos totales.....	54
• Variable (subíndice) Demanda Química de oxígeno (DQO).....	54

•	Variable (subíndice) conductividad eléctrica (C.E).....	54
•	Variable (subíndice) pH.....	55
•	Variable (subíndice) Nitrógeno Total/Fosforo Total (NP/PT).....	55
4.2.	Cálculo del ICO's	62
4.3.	Determinación de índices de contaminación (ICO).....	63
•	Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).....	63
•	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	64
•	Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	65
•	Índice de contaminación trófica (ICOTRO)	65
5.	Normatividad aplicable a la Evaluación	78
6.	Conclusiones y recomendaciones	92
6.1.	Conclusiones.....	92
6.2.	Recomendaciones.....	94
7.	Bibliografía.....	95

Lista de figuras

Figura 1. Distribución Zona Rural	8
Figura 2. Distribución Zona Urbana	10
Figura 3. Distribución poblacional en la zona rural y zona urbana	11
Figura 4. Distribución de la producción en Ha cultivadas en los años 2011 - 2012.....	12
Figura 5. Índices de empleo en actividades económicas del municipio de Facatativá	17
Figura 6. Identificación puntos de interés año 2014.....	33
Figura 7. Identificación puntos de interés año 2015.....	35
Figura 8. Identificación puntos de interés año 2016.....	36
Figura 9. Comportamiento índice ICA año 2015.....	59
Figura 10. Comportamiento índice ICA año 2016.....	60
Figura 11. Comparación comportamiento ICA 2014 - 2016	61
Figura 12. Comportamiento índices año 2014	72
Figura 13. Comportamiento índices año 2015	73
Figura 14. Comportamiento índices año 2016	75
Figura 15. Comparación comportamiento índices 2014 - 2016.....	76

Lista de tablas

Tabla 1. Estaciones de muestreo determinadas para la microcuenca del Río Botello.....	32
Tabla 2. Puntos de interés identificados año 2014.....	32
Tabla 3. Puntos de interés identificados año 2015.....	34
Tabla 4. Puntos de interés identificados año 2016.....	34
Tabla 5. Técnicas utilizadas para análisis de muestras año 2014.....	40
Tabla 6. Técnicas utilizadas para análisis de muestras año 2015.....	41
Tabla 7. Técnicas utilizadas para análisis de muestras año 2016.....	42
Tabla 8. Parámetros de calidad por punto año 2014.....	49
Tabla 9. Parámetros de calidad por punto año 2015.....	50
Tabla 10. Parámetros de calidad por punto año 2016.....	51
Tabla 11. Variables y ponderaciones para el caso de seis (6) variables.....	52
Tabla 12. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA.....	52
Tabla 13. Relación de la calidad del agua con el porcentaje de saturación de oxígeno...	53
Tabla 14. Información año 2014.....	56
Tabla 15. Información año 2015.....	56
Tabla 16. Información año 2016.....	57
Tabla 17. Calificación de la calidad del agua según los valores que tomen los indicadores de contaminación.....	63
Tabla 18. Parámetros de contaminación por punto para el año 2014.....	67
Tabla 19. Parámetros de contaminación por punto para el año 2015.....	68
Tabla 20. Parámetros de contaminación por punto para el año 2016.....	69
Tabla 21. Información año 2014.....	71
Tabla 22. Información año 2015.....	72
Tabla 23. Información año 2016.....	74
Tabla 24. Resultados ICO anual.....	75
Tabla 25. Decretos en materia de agua.....	78
Tabla 26. Leyes en materia de agua.....	79
Tabla 27. Otras disposiciones.....	80
Tabla 28. Aplicabilidad de la normatividad a la evaluación de la calidad del Río Botello aguas arriba y aguas abajo en el año 2014.....	83
Tabla 29. Aplicabilidad de la normatividad a la evaluación de la calidad del Río Botello aguas arriba y aguas abajo en el año 2015.....	86
Tabla 30. Aplicabilidad de la normatividad a la evaluación de la calidad del Río Botello aguas arriba año 2016.....	88

Tabla 31. Aplicabilidad de la normatividad a la evaluación de la calidad del Río Botello aguas abajo año 2016.....	90
---	----

Lista de mapas

Mapa 1. Geografía municipio Facatativá	4
Mapa 2. Distribución Cuencas y Subcuencas municipio de Facatativá	7
Mapa 3. Distribución zona rural (veredas) en el Municipio de Facatativá.	9
Mapa 4. Identificación de objetivos del afluente – Río Botello año 2014	29
Mapa 5. Identificación de objetivos del afluente – Río Botello año 2015	30
Mapa 6. Identificación de objetivos del afluente – Río Botello año 2016	31
Mapa 7. Metodología para ejecución de monitoreo	39
Anexo A: Mapa 8. Estructura hídrica del municipio de Facatativá	105

Lista de Anexos

Anexo A: Mapa 8. Estructura hídrica del municipio de Facatativá	105
Anexo B: Imágenes de etapa de reconocimiento.....	106
Anexo C: Gráficas arrojadas por ICATest, evaluación ICOMO e ICOSUS por punto año 2014	108
Anexo D: Gráficas arrojadas por ICATest, evaluación ICOMI, ICOMO e ICOSUS por punto año 2015	111
Anexo E: Gráficas arrojadas por ICATest, evaluación ICOMI, ICOMO e ICOSUS por punto año 2016	117

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
---------	---------	-----------	------------

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
---------	---------	-----------	------------

Subíndices

Subíndice	Término
-----------	---------

T	Tonelada
Ha	Hectárea
Km	Kilometro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar

Abreviaturas

Abreviatura	Término
-------------	---------

<i>ICA</i>	Índice de Calidad del Agua
<i>ICO</i>	Índice de Contaminación
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>EAF</i>	Empresa de Aguas de Facatativá
<i>ESP</i>	Empresa de Servicios Públicos

Abreviatura	Término
<i>ICOMI</i>	Índice de contaminación por Mineralización
<i>ICOSUS</i>	Índice de contaminación por Solidos Suspendidos
<i>ICOTRO</i>	Índice de contaminación Trófica
<i>ICOMO</i>	Índice de contaminación por Materia Orgánica
<i>DBO₅</i>	Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días
<i>DQO</i>	Demanda Química de Oxígeno
<i>SST</i>	Solidos Suspendidos Totales
<i>NT/FT</i>	Nitrógeno Total / Fosforo Total
<i>pH</i>	Potencial Hidrogeno
<i>OD</i>	Oxígeno Disuelto
<i>C.E.</i>	Conductividad Eléctrica

Introducción

Uno de los factores más importantes que conllevan a la contaminación y agotamiento de los recursos naturales disponibles, principalmente de agua dulce es el crecimiento demográfico desmesurado y con este el incremento en la urbanización, industrialización y producción (UNESCO, 2015), lo que genera mayor demanda de mano de obra en actividades productivas agrícolas, pecuarias e industriales (transformación de productos), aumentando la emisión de gases efecto invernadero y por ende, agotamiento de la capa de ozono; el segundo factor está contemplado como cambio climático derivado de igual manera de las actividades de desarrollo humano.

Dichos factores intervienen negativamente en los recursos naturales disponibles, sin embargo, uno de los recursos más afectados es el hídrico al ser el componente principal de desarrollo y manutención de vida, por lo que los cambios que este sufra trae consigo implicaciones en la disponibilidad de recurso, abastecimiento para consumo en las actividades agropecuarias y domésticas de las poblaciones, biodiversidad y variación en aumento y descenso de los niveles oceánicos (U.S. Global Change Research Program, 2017).

Teniendo en cuenta esto, se da una mirada sobre el territorio colombiano, poniendo en evidencia que debido a los fenómenos climáticos presentes en el país (fenómeno del niño, fenómeno de la niña), el despilfarro de los recursos existentes y su mala o inexistente gestión; el desabastecimiento de agua en el territorio es un problema en aumento. Un ejemplo de ello es la situación crítica que vienen presentando los recursos hídricos de los diversos municipios del país, de los cuales 238 de los 1100 presentes tuvieron que restringir el suministro de agua en las zonas urbanas y rurales interrumpiendo la línea de producción y calidad de vida en el año 2015 (Colombia prevé sequía "muy fuerte" y falta de agua hasta marzo de 2016, 2015).

Dentro de esta crisis, uno de los municipios más perjudicados fue el municipio de Facatativá debido a la sequía de sus embalses, lo que conllevó a una alerta roja por la afección de los recursos hídricos utilizados para su desarrollo social y económico (El Tiempo, 2015), y que a la fecha no posee un equilibrio de distribución y abastecimiento pertinente a sus actividades.

La cuenca del Río Botello se establece como uno de los principales recursos hídricos con los que se abastece la municipalidad de Facatativá y del cual se derivan diversos usos desde su nacimiento, este se ubica en el departamento de Cundinamarca y permite a las zonas rural y urbana desarrollar un estilo de vida que devuelve al recurso hídrico degradación y contaminación.

El presente documento expone los resultados obtenidos a lo largo del proceso investigativo de la calidad del agua del Río Botello en una línea estructurada de capítulos, de manera que se abarcan los conceptos generales del municipio de Facatativá – Cundinamarca, las fuentes hidrográficas presentes, el estado actual y estudios previos realizados sobre las mismas, mediante una exhaustiva revisión bibliográfica a lo largo del Capítulo 1. Sobre el capítulo 2 se consolida la problemática de la investigación, los objetivos del trabajo y la metodología implementada para la obtención del producto final.

El en Capítulo 3 se engloban los conceptos del desarrollo investigativo del trabajo, el establecimiento de los puntos de muestreo, los análisis de pruebas fisicoquímicas y biológicas de las muestras obtenidas por parte de los laboratorios avalados (ANTEK, ANASCOL) por el Instituto Hidrográfico, Meteorológico y Estudios Ambientales (IDEAM) y contratados por la Empresa Aguas de Facatativá, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios SAS ESP. Al igual que la definición de las variables de los índices de calidad y contaminación de la cuenca estudiada.

Por último, se dan a conocer las conclusiones obtenidas del proceso y recomendaciones para subsiguientes investigaciones que permitan establecer una gestión de los recursos por parte de los entes encargados del control, preservación, conservación y gobernanza de los recursos hídricos con los que cuentan actualmente.

Facatativá

El municipio estando en los años 1600 fue reconocido y adjudicado por el oidor Diego Gómez de Mena como el resguardo del auto de población del municipio, el día 03 de Julio de 1600 siendo reconocido como el fundador del actual municipio de Facatativá (Alcaldía de Facatativá - Cundinamarca, 2016), se convirtió en uno de los 116 municipios del departamento de Cundinamarca, corazón del territorio colombiano.

1.1. Geografía

El municipio de Facatativá se ubica sobre las coordenadas 4°48'46" latitud norte y 74°21'00" longitud oeste, del meridiano de Greenwich (Rubiano, 2010), en el departamento de Cundinamarca a 36 km del costado occidental de la Sabana de Bogotá, 42 km de la capital, en la cordillera Oriental; limita en el norte con el municipio de Sasaima, la Vega y San Francisco, por el costado sur con Zipacón y Bojacá, por el oriente con Madrid y El Rosal; por el occidente con Anolaima y Albán, como se observa en el mapa 1.

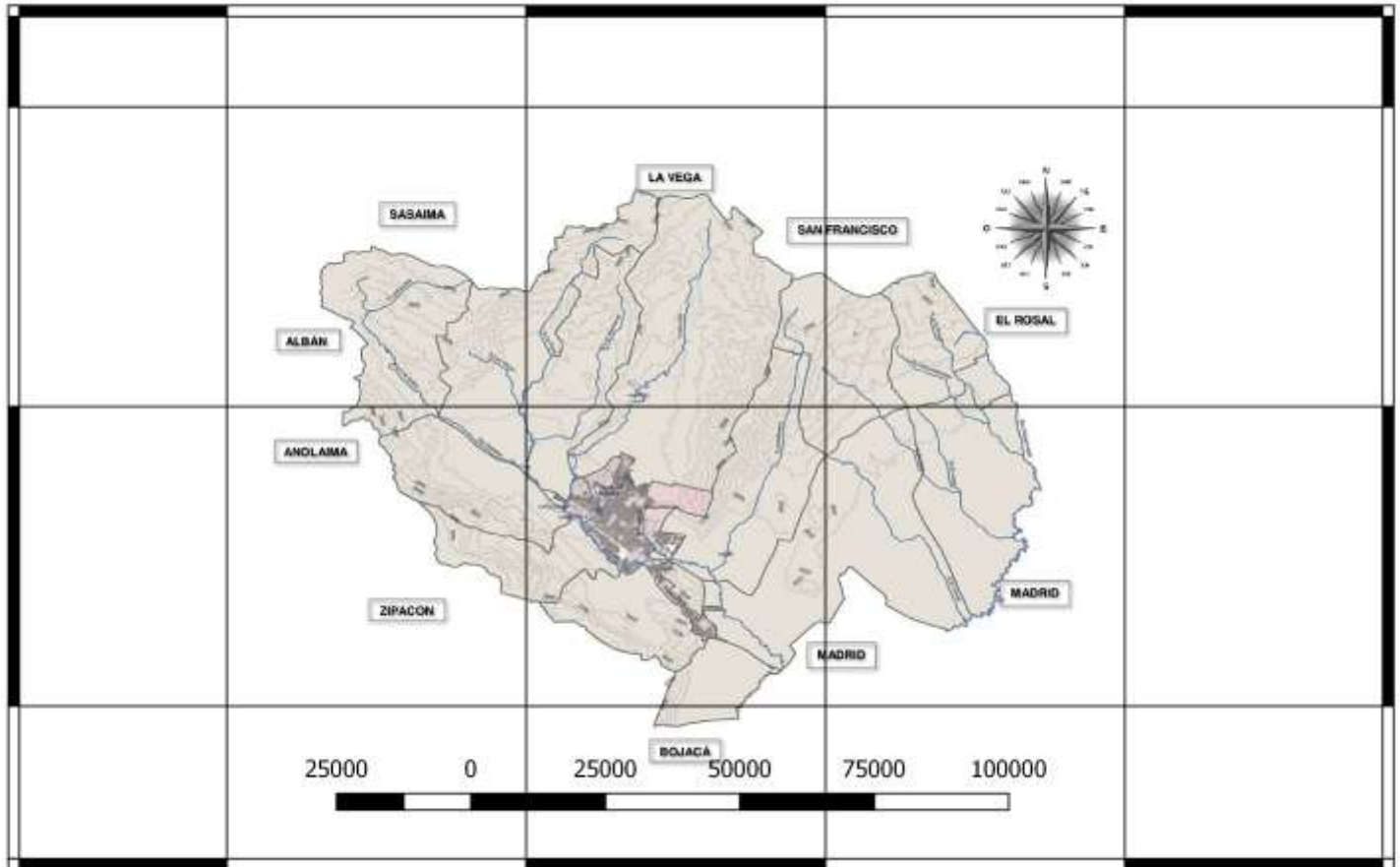
Dentro del municipio destacan geográficamente altimetrías y reservas como el Alto de la Tribuna ubicada a 3000 m.s.n.m., Alto de las cruces a 2800 m.s.n.m. al costado occidente y el Cerro Manjuy a 3150 m.s.n.m. al costado sur; así como caminos reales de Zipacón, camino antiguo ferrocarril Mancilla – El Dintel y reservas naturales Vereda La Selva (Alcaldía de Facatativá - Cundinamarca, 2016).

Debido a la ubicación geográfica, el municipio cuenta con un régimen pluviométrico bimodal, es decir, se divide en dos temporadas: la primera de los meses de abril a mayo y la segunda de octubre a noviembre; la temporada seca se da en los meses de enero, febrero, julio y agosto (IDEAM; PNUD, 2014).

Una vez llegan los periodos secos al municipio se inician las problemáticas de acceso al agua y distribución de la misma por parte de la empresa de acueducto, así como en

periodos de lluvias se presentan inundaciones que afectan la calidad de vida de los habitantes tanto de la zona rural como urbana.

Mapa 1. Geografía municipio Facatativá



Fuente: Autor, Qgis

1.2. Hidrografía

Los cuerpos hídricos al ser una corriente de agua continua sobre una superficie terrestre constituyen un drenaje de carácter natural y cuyo alrededor y caudal sirven de escenario para el desarrollo de actividades agropecuarias y urbanas (Ciencia Geográfica, 2011).

El municipio de Facatativá cuenta con una amplia red hidrográfica¹ compuesta principalmente por el Río Los Andes, determinado como su principal arteria fluvial, este

¹ Anexo A – Mapa Estructura hídrica del municipio de Facatativá (Alcaldía municipal de Facatativá, 2014).

nace en el sector de Peñas del Aserradero en la vereda de Altos de la Tribuna a 3000 m.s.n.m. alimentado por la Quebrada Muña con una extensión de 1,82 km, Quebrada La Laja con extensión de 3,58 km y Quebrada Las Cruces con extensión de 1,91 km en sus primeros kilómetros, la Quebrada Malabrigo se conecta a los 3000 m.s.n.m. en el sector de La Carbonera, cuenta con una extensión de 1,73 km es abastecido por diecisiete cuerpos de agua (Quebradas) en total con un perímetro de 45,9561 km (Aldana, 2015), las cuales se dividen en Subcuencas y microcuencas presentadas en el mapa 2.

La primer Subcuenca denominada Río Botello, descrito como un río de carácter estacional, es decir que por su ubicación geográfica con clima bimodal posee un caudal abundante durante las épocas de lluvia y presenta déficit durante la temporada seca la cual es muy marcada toma su nombre en las inmediaciones de la zona urbana (borde sur – occidente), cuenta con un recorrido de 24,50 km hasta su cuenca baja en las inmediaciones de La Muralla – Cartagenita en donde hace conexión con el Río Bojacá y desembocando a su vez en el Río Balsillas a la altura de Los puentes – Balsillas, llegando finalmente al río Bogotá; se alimenta de afluentes como Quebrada la Laja, La Pava, La Yerbabuena y Quebrada Mancilla, las cuales nutren el acueducto local.

Esta primera subcuenca de la red hidrográfica se alimenta de tres microcuencas denominadas:

- **La Pava:** Nace en la vereda La Selva en Cerros del Separadero atravesándola al igual que la vereda San Rafael, cuenta con un recorrido de 8,79 km y es alimentada a su vez por quebradas de bajo caudal como Los Micos con una extensión de 1,2 km, Pantano Largo con una extensión de 1,44 km, La Selva, El Manzano con una extensión de 5,83 km y esta a su vez por la Quebrada La Primavera con extensión de 1,27 km a 2800 m.s.n.m.
- **Mancilla:** Atraviesa la vereda Mancilla y nace como convergencia de Quebradas menores como Cerro Negro la cual cuenta con una extensión de 2,65 km, Santa Ana y El retiro con una extensión de 2,06 km a 2700 m.s.n.m., se interconecta a su vez con la Quebrada el vino la cual posee una extensión de 1,80 km, Quebrada Chicuzaza con extensión de 0,38 km, siendo un cuerpo hídrico de menor caudal y la Quebrada Guapucha que tiene una extensión de 1,34 km.

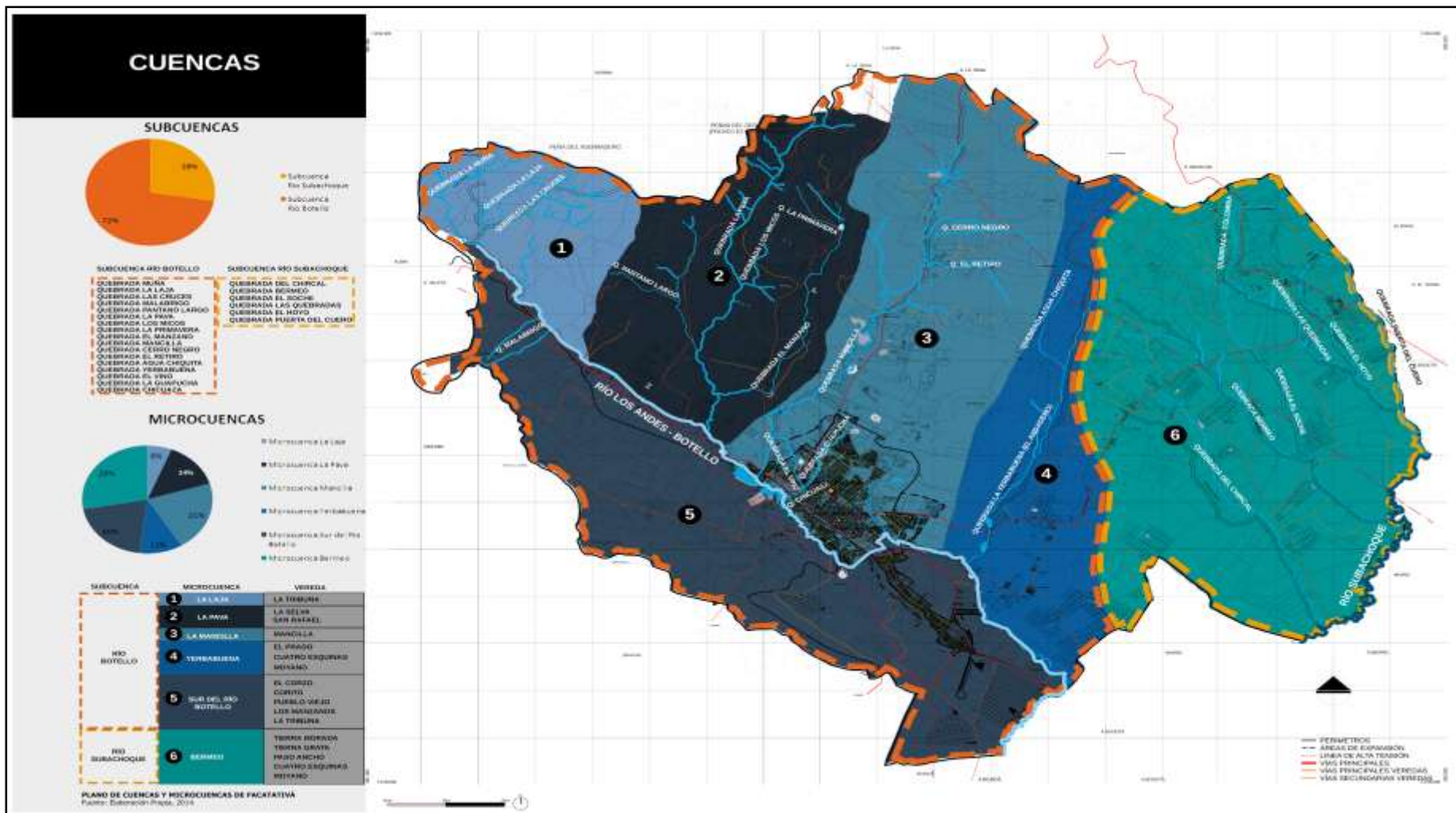
- **Yerbabuena:** Conocida como sector del Andadero, nace en el sector de Prado Alto, el Vergel a 2800 m.s.n.m., posee una extensión de 6,99 km y conecta a su vez con un cuerpo de agua de menor caudal llamada Quebrada Agua Chiquita la cual tiene una extensión de 2,45 km.

La segunda Subcuenca con la que cuenta el municipio se denomina Río Subachoque, el cual nace en el sector de Altos del Boquete en el municipio de Subachoque a una altura promedio de los 3700 m.s.n.m. la cual se abastece con 7 afluentes hídricos y recorre una fracción del municipio de Facatativá en una extensión de 10,68 km.

Esta segunda subcuenca de la red hidrográfica se alimenta de cuatro microcuencas denominadas como:

- **El Chircal:** Nace en la vereda cuatro esquinas, atraviesa las veredas Moyano y Paso Ancho, abarcando un área de un área de 17,39 km² con una extensión de 6,34 km.
- **Puerta del Cuero:** Nace en la vereda Tierra Morada pasando por el sector de Paso Ancho en el límite con el municipio El Rosal, cuenta con una extensión de 4,90 km.
- **El Bermeo:** Atraviesa las veredas Prado, Cuatro esquinas, Moyano y Paso Ancho abarcando un perímetro de 15,83 km² y una extensión de 4,70 interconectándose con el afluente denominado Quebrada El Soche la cual se extiende por 6,94 km.
- **Las Quebradas:** Atraviesa las veredas cuatro esquinas, tierra morada y tierra grata sobre el límite del municipio de Facatativá con Madrid abarcando un área de 13,01 km² y una extensión de 2,87 km, este cuerpo a su vez conecta con los afluentes Quebrada Colombia con una extensión de 3,00 km y la Quebrada El Hoyo la cual posee una extensión de 4,60 km.

Mapa 2. Distribución Cuencas y Subcuencas municipio de Facatativá



Fuente: (Alcaldía municipal de Facatativá, 2014)

1.3. Población y Economía

1.3.1. Población

De acuerdo con los censos realizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el año 2005 el municipio de Facatativá contaba con una población de 107452 habitantes, sobre el año 2009 se preveía un aumento del 0,26% lo que llevaba a un total de 117396 habitantes para dicho año, previendo un 49,73% de género femenino y el 50,27% restante de género masculino (Sánchez, Galindo, Orjuela, Gómez, & Ariza, 2010).

Para el año 2016 el censo realizado indicó que el municipio cuenta con 150000 habitantes, es decir, que del año 2009 al 2016 se presentó un aumento poblacional de aproximadamente el 28%. Actualmente la población de Facatativá se distribuye en una extensión total de 158 km² dividida en dos zonas; una rural con una extensión de 15245 Ha, es decir 152,45 km², la cual se encuentra distribuida como se presenta en la Figura 1 en un total de 14 veredas, presentadas en el mapa 3, siendo Mancilla la vereda más extensa, seguida por la vereda Moyano y las veredas con los índices más bajos de población se representan en la vereda Tierra Grata, seguida de veredas como El Corzo, Pueblo Viejo, Tierra Morada y Corito (Alcaldía de Facatativá - Cundinamarca, 2016).

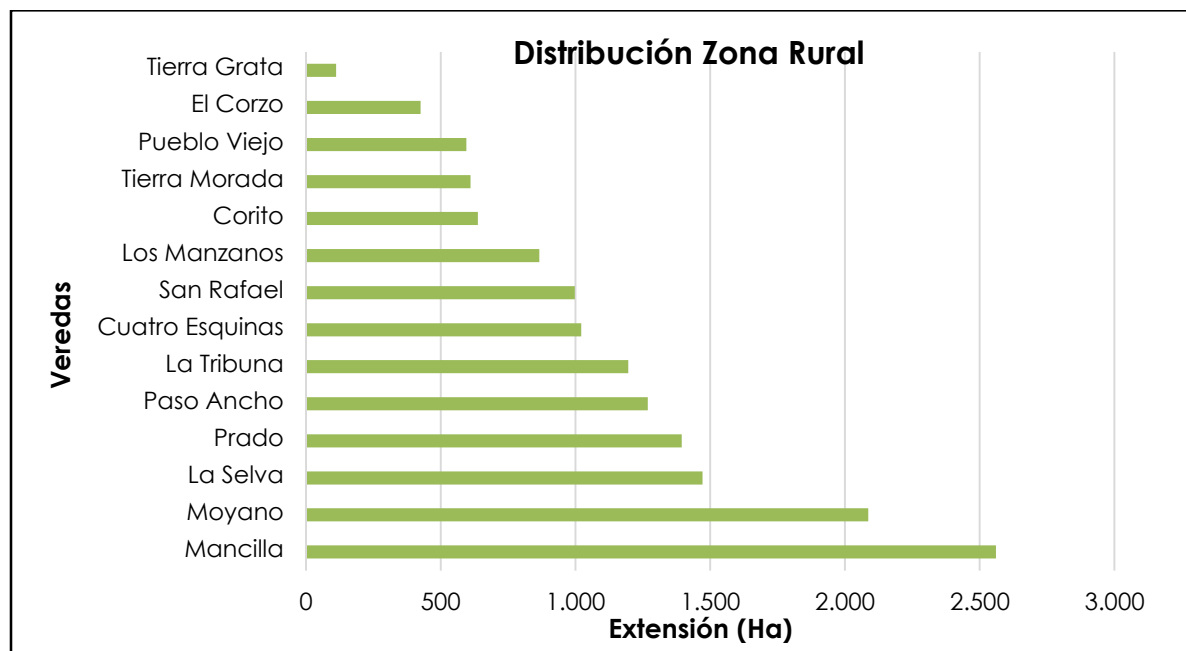
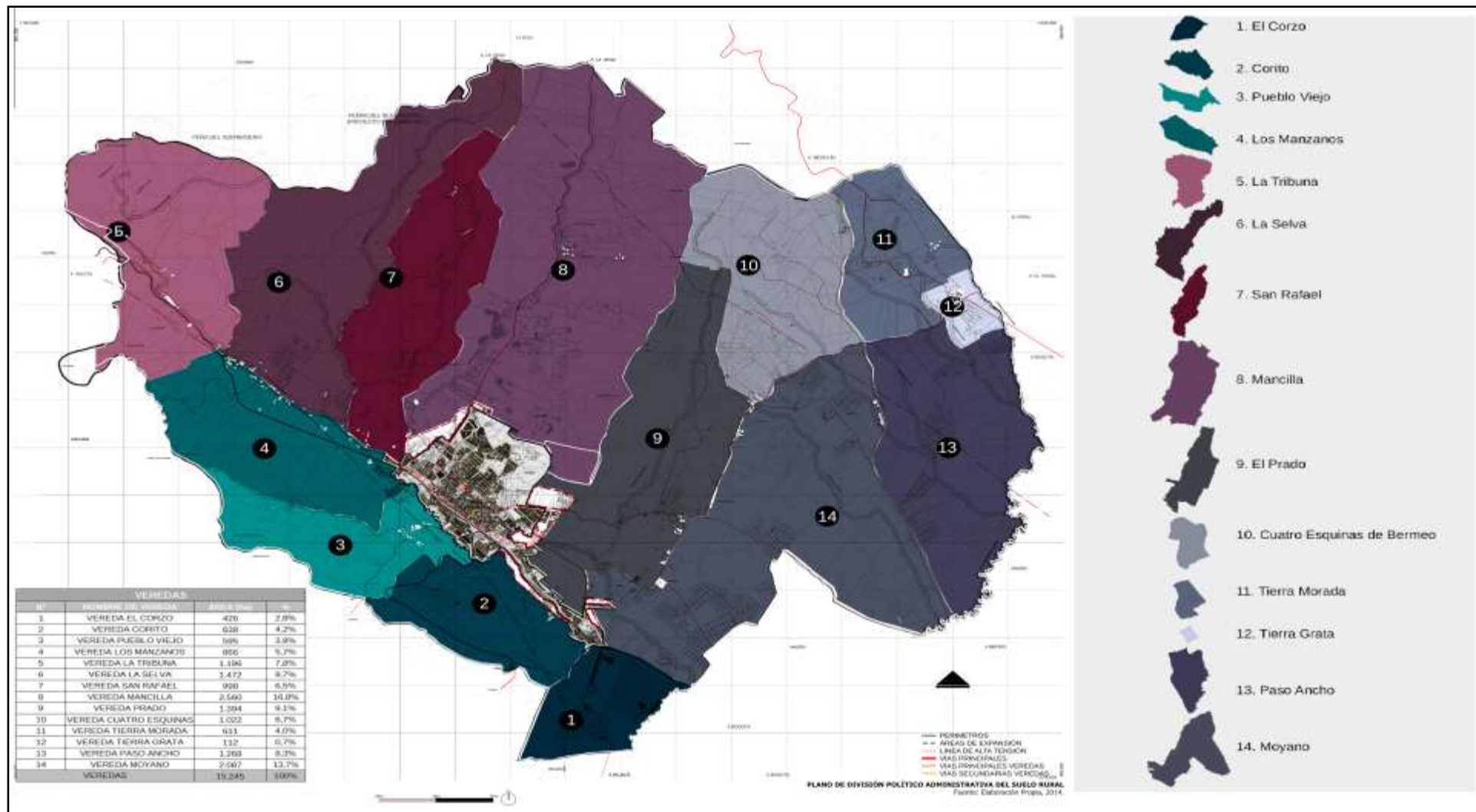


Figura 1. Distribución Zona Rural
Adaptado de: (Alcaldía Municipal de Facatativá, 2014)

Mapa 3. Distribución zona rural (veredas) en el Municipio de Facatativá.



Fuente: (Alcaldía Municipal de Facatativá, 2014)

Y una zona urbana con una extensión de 5,55 km², distribuidos en seis áreas funcionales denominadas borde sur, grandes áreas verdes, occidente, periferia urbana, tejido residencial urbano y centro cuya extensión se presenta en la Figura 2, estas áreas a su vez se dividen en 109 barrios, ubicados a una altura de 2586 m.s.n.m. y una temperatura media de 14°C.

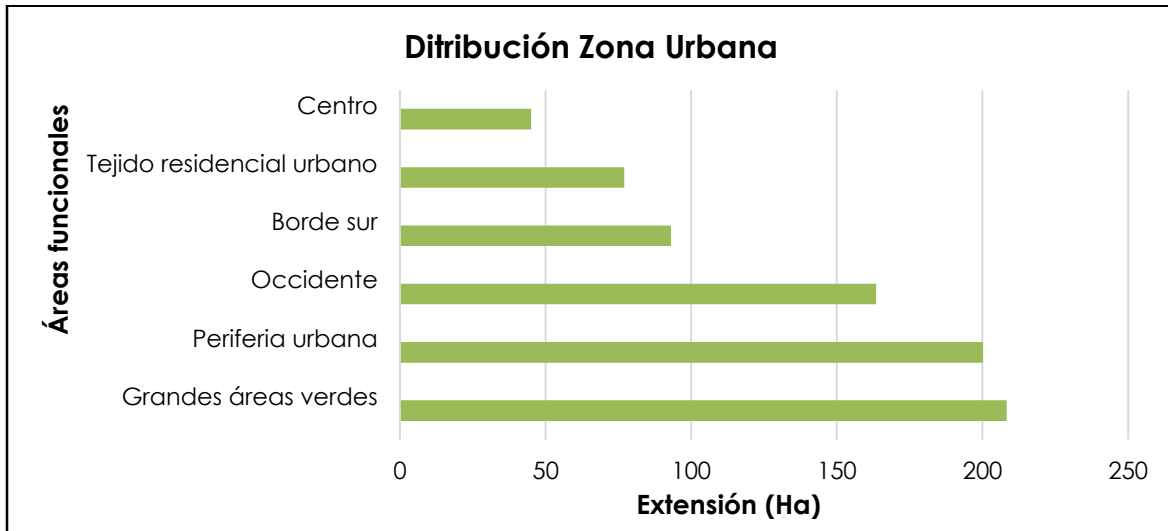


Figura 2. Distribución Zona Urbana
Adaptado de: (Alcaldía Municipal de Facatativá, 2014)

La Figura 3, presenta la distribución actual de los habitantes del municipio de Facatativá en la zona rural y las diferentes áreas funcionales de la zona urbana, el 53% de la población del municipio se encuentra asentada en la zona rural, mientras que el 47% restante se distribuye a lo largo y ancho de la zona urbana. El área de la Periferia urbana es la más poblada de la zona con un 13% de la población total, distribuida en 17 barrios. Seguido de ésta la segunda área más poblada es la de Grandes áreas verdes que cuenta con 19 barrios. Esta información concuerda con la extensión de las áreas funcionales, manteniendo la relación que a mayor extensión mayor población.

El área Borde Sur alberga el 9% de la población del municipio que se distribuye en tres zonas específica, las rondas del Botello que cuenta con 7 barrios, y representa el 4% del Borde Sur, Los Saucos con 9 barrios representando el 3% del Borde Sur, y 5 barrios adicionales con el 2% que son: La Riviera, Brasilia, El Rincón de Faca, San Cristóbal y San Carlos. El área funcional de Occidente cuenta con 22 barrios representando el 8% de la población de Facatativá, mientras que el área de Tejido Residencial Urbano representa un 5% de la población distribuido en 12 barrios.

Finalmente, el área del Centro es donde hay menor población representando tan sólo el 1% del total de la población del municipio.

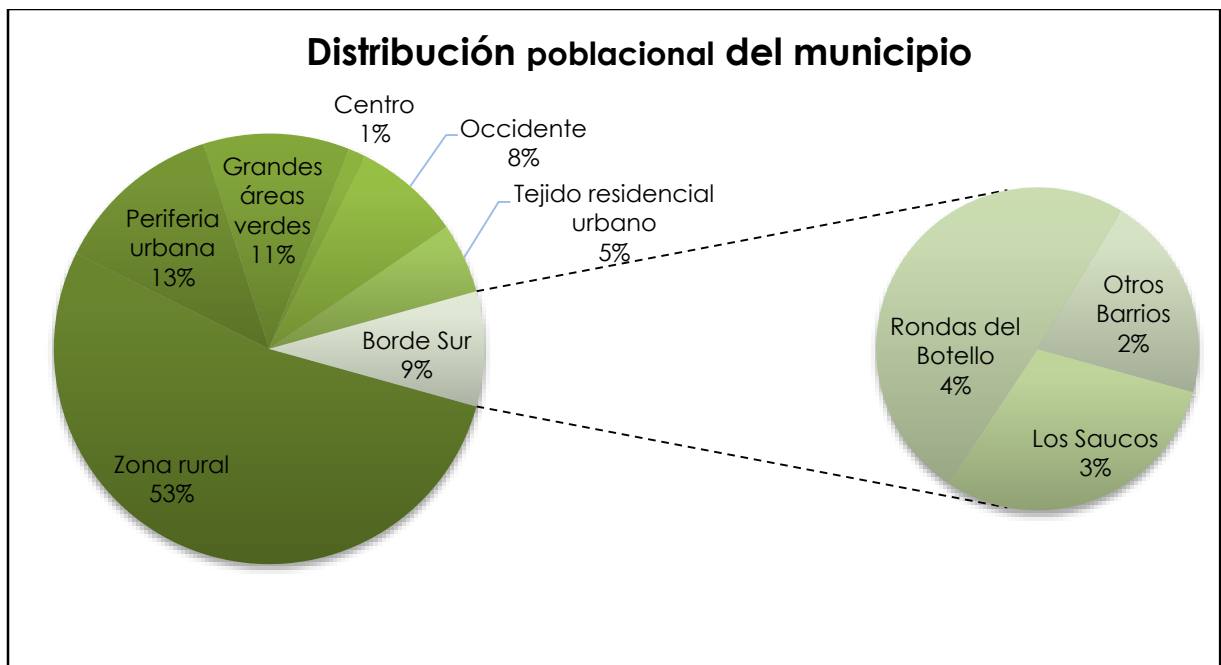


Figura 3. Distribución poblacional en la zona rural y zona urbana
Adaptado de: (Alcaldía Municipal de Facatativá, 2014)

Actualmente, la población del municipio de Facatativá, distribuida en la zona rural utiliza el agua procedente del Río Los Andes para el abastecimiento de las actividades económicas (producción agrícola, producción pecuaria no intensiva, doméstica e industrial) y a su vez como corriente de descarga de las actividades pertenecientes al sector comercial – agropecuario.

En la zona urbana el Río Los Andes toma el nombre de Río Botello en las inmediaciones de la cabecera municipal, por lo que la empresa de acueducto capta y trata estas aguas para distribución en el casco urbano del servicio de agua potable, sin embargo, debido al aumento de los asentamientos urbanos en el municipio, se realizó en el año 2015 la medición de algunos parámetros de calidad del agua tales como pH, temperatura, turbiedad, conductividad, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), Oxígeno disuelto, *E-Coli* y *Coliformes totales*, entre otros, dando como resultado que las actividades antrópicas traen consigo problemas a la oferta del recurso hídrico (Paiba & Monroy, 2015).

1.3.2. Economía

La economía del municipio está dividida en tres sectores destacados como primario, secundario y terciario, el primario se resalta por la producción de materia prima, el segundo como ejercicio de transformación y el tercero como turismo a gran escala.

- **Sector Primario:**

El municipio de Facatativá se fundamenta en actividades agrícolas que cubren en promedio el 97,28% de los predios del municipio representados en 2012 predios menores de 3 hectáreas con 3450 propietarios (Concejo del municipio de Facatativá, 2012) que representan una extensión de 1829 Ha sembradas, con un rendimiento de 17,14 t/Ha (Toneladas por hectárea) en promedio (Gobernación de Cundinamarca, 2014); debido a los altos niveles de fertilidad que presenta el suelo, se destaca que dichas producciones son de orden rotativo ya que las siembras de los diversos productos se llevan a cabo por demanda en el mercado y las tendencias de cultivos en las zonas aledañas, dentro de estas prácticas se destacan productos como flores, entre otros se destacan la arveja, repollo, papa en sus variedades criolla, R12 y suprema, maíz, fresa, trigo, hortalizas y otros que abastecen la capital del país (Bogotá) y los mercados vecinos.

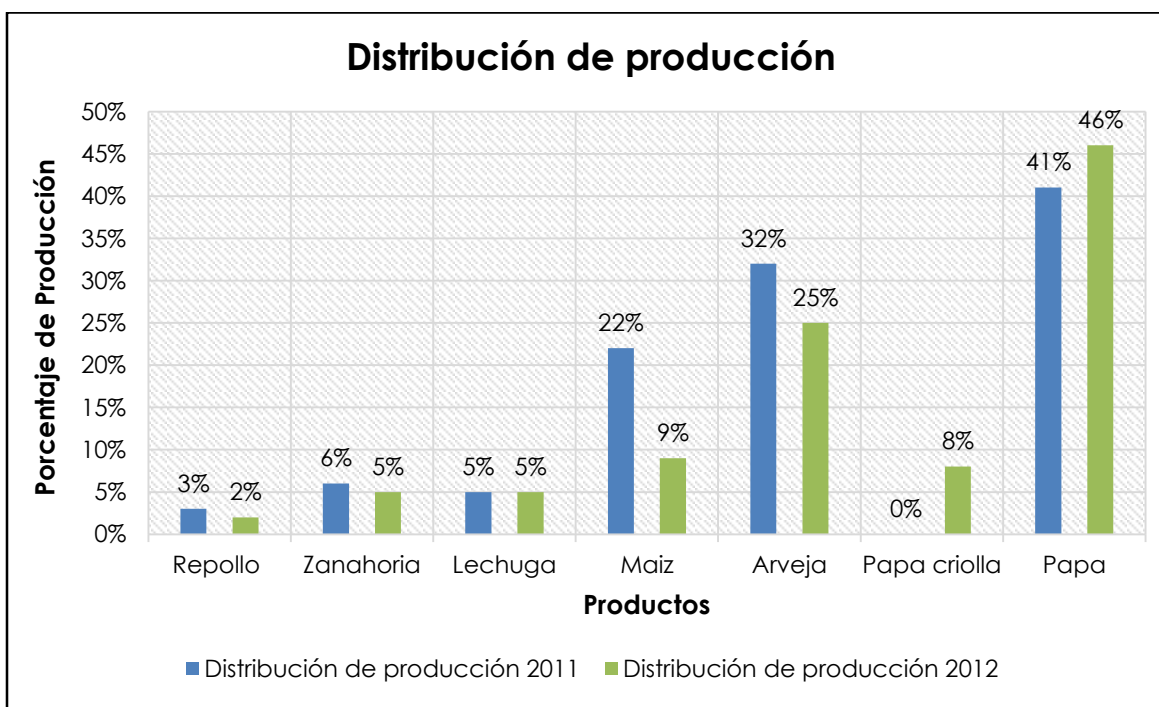


Figura 4. Distribución de la producción en Ha cultivadas en los años 2011 - 2012
Adaptado de: (Gobernación de Cundinamarca, 2014)

Como se observa en la figura 4, en la distribución de producción de los cultivos sobre las 1829 Ha cultivadas dentro de los años 2011 – 2012 se destacan los cultivos como la papa en gran proporción, ocupando el 41% en 2011 de la producción en los terrenos utilizados para tal fin, seguida de la arveja cuyo índice esta sobre el 32% de ocupación y en tercer lugar el maíz con un porcentaje de ocupación del 22%, adicionalmente se pueden observar otros productos en menor producción como zanahoria, lechuga y repollo con un porcentaje de ocupación del 6%, 5% y 3%, respectivamente. Dichos cultivos se producen bajo un sistema de riego por goteo cuyo abastecimiento es captado del río Botello en las laderas de la zona de nacimiento visiblemente adaptado en el sector de Los Andes.

Por otro lado, para el año 2012 se identifican variaciones en la ocupación de los cultivos dentro de los dos periodos anuales medidos para cultivos de papa, arveja, zanahoria, repollo y maíz por ser cultivos de rápido crecimiento y rendimiento de producción, teniendo en cuenta además la demanda del mercado. Para este año la papa ocupa un promedio del 54% de las áreas de producción distribuidas en 46% de papa en variedades R12 y suprema, así como un 8% en variedad criolla aumentando los porcentajes de producción frente al año inmediatamente anterior, se disminuye el porcentaje de ocupación de la arveja al pasar de 32% (2011) a 25%, lo mismo para el maíz al tener un índice de ocupación del 9% y la zanahoria una reducción del 1% quedando en un índice de representación del 5%, la lechuga se mantiene en su porcentaje de ocupación frente al repollo el cual presenta un aumento del 2% quedando con un índice de ocupación del 5%. Dichos cambios obedecen a las condiciones climáticas presentadas en dichos años de producción y, por ende, la disponibilidad de agua captada para riego.

Dentro de las actividades productivas de la zona se contemplan también cultivos de flores los cuales se realizan bajo modalidad invernadero a lo largo de 1500 hectáreas de zonas rurales con uso de mano de obra calificada y no calificada, sus producciones son comercializadas en la capital del país, dejando con menor participación las plazas de mercado, ferias y tiendas locales. Dentro de este sector se maneja en un segundo plano la avicultura y producción de huevos.

Como complemento del censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística en el año 2005 sobre las actividades agropecuarias llevadas a cabo en

el municipio, se estableció que de los habitantes de la zona rural, solo el 52,6% de la población de las zonas en donde se desarrollan las actividades del sector primario admitió tener actividades agropecuarias en sus predios frente al 47,4% (DANE, 2010) que negó tener relación con la actividad o aseguró no desarrollarlas en sus predios de vivienda, los que por el contrario cuentan con predios aledaños o se emplean en el oficio agropecuario en predios en los que desarrollan este tipo de producciones.

▪ **Sector secundario:**

En este sector se agrupan las transformaciones de materia prima generada en el sector primario mediante la fabricación de alimentos concentrados para animales, cosméticos, joyas, refinería, jabones; dentro de las compañías transformadoras y competentes se encuentran Arrocería de la Sabana, Raza (alimentos concentrados), Yanbal, Alpina (productos lácteos), Indalpe, Inagro, Alimentos polar, complejo Industrial ECOPETROL, (dentro del cual se acopian 12 compañías de transporte de combustibles, almacenamiento de combustibles líquidos y gas licuado, transformadoras de aceite de palma – Biodiesel) las cuales se ubican en zonas veredales (rurales) como Mancilla, Prado y La Tribuna.

▪ **Sector terciario:**

Entre otros mercados diversos a la producción agrícola, que se cuentan como servicios y turismo, se destacan los negocios de distribución, según el censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el 2005 y presentado en el 2006 del 100% de los hogares presentes en el municipio de Facatativá el 4,9% posee alguna actividad económica al interior de sus casas frente al 95,1% restante.

Dentro de las actividades económicas en hogares se destacan las tiendas locales, las cuales cuentan con 4247 establecimientos que generan en promedio 11908 empleos a los habitantes del municipio. Adicionalmente se destacan industrias de calzado, confección de ropa, fabricación de pequeños productos en hierro y acero, impresiones, ediciones de actividades periodísticas, venta de alimentos y productos agrícolas, viveros al por mayor, venta de medicamentos, madera, materiales de construcción, licorerías y cigarrerías, venta y distribución de combustibles, joyas, actividades de asesoría, interventorías y servicios de índole profesional, se destacan además

almacenes de cadena con peso en el mercado como éxito y Carrefour (ahora almacenes Jumbo), bares, grilles, discotecas, juegos, hoteles, servicios de motel, casas de empeño, servicios de reparación eléctrica, mecánica, mantenimiento de vehículos y electrodomésticos, vigilancia, servicios públicos domiciliarios (agua, gas, luz) bancos y otras corporaciones financieras.

En el sector terciario a parte de los servicios se destaca el turismo a gran escala, dentro de estos es posible acceder a lugares como:

- *Centro del municipio:* Se conforma de patrimonio autóctono al contar con construcciones antiguas, se destaca la Plaza de Bolívar, casonas de acento español, destacándose la casa en donde nació el historiador del municipio, dichas construcciones cuentan por lo menos con 100 años de antigüedad (Concejo del municipio de Facatativá, 2012).
- *Parque Arqueológico Piedras del Tunjo:* Principal atractivo del municipio al ser declarado atracción turística sobre el año 1946 (Concejo del municipio de Facatativá, 2012), fue sitio de la cultura muisca como espacio espiritual, se pueden encontrar a la fecha pinturas rupestres en las rocas que pueden llegar a tener en promedio 10000 años de antigüedad y a las cuales a la fecha no se les ha podido encontrar interpretación; posee un lago navegable, dentro del esquema de parques del municipio se encuentran el parque lineal Río Botello, Las Tinguas, El estadio, Los Cerezos, Santa Rita, Villa olímpica, Polideportivo Manablanca y parque de los niños.
- *Senderos turísticos:* Se destacan senderos ambientales como San Rafael ubicado en el sector de Mancilla, La selva en el sector de Prado, sendero Volconda en el sector de la Tribuna y Santillana, se destacan otros caminos denominados reales como son el camino real Albán, Sasaima, Zipacón, La Vega, Alto de las Cruces, Los manzanos, Paso Mancilla, Antiguo Ferrocarril, reservas naturales como Palameja, camino Gualiva y Peñas del Separadero (Concejo del municipio de Facatativá, 2012).
- *Humedales:* Manantial San Rafael Alto, La Cañada, Criadero Caballar Carabineros, Covarachía, Fleischman, La Guapucha, Las Tinguas, Las piedras,

San Javier, Sector La Trampa, El pino, Valle de Coito, Santa Cecilia, La Chamicera 1 y 2.

De acuerdo al censo realizado por el DANE en el año 2005 (DANE, 2010) en promedio el sector de comercio o sector secundario provee tasas de empleo que van desde >200 empleados representados en un 83,3% y una tasa de 59,5% entre 0 y 10 empleos, siendo el sector con mayor índice de contratación frente a otras de menor contratación como lo son en empresas con capacidades de contratación entre 50 y 200 empleados dentro de la misma actividad económica.

Las actividades de turismo y servicios proveen entre 10 y 50 empleos representados en un 69,2%, una tasa de 44,8% en empresas con generación de 51 a 200 puestos de trabajo siendo estas las tasas más altas dentro del desarrollo de la actividad económica terciaria y una tasa de 31,4% en contratación de 0 a 10 personas considerado como el índice más bajo dentro de la actividad económica.

Por otro lado, las actividades económicas como industria contenida en las actividades económicas secundarias o de transformación presentan las tasas más bajas de generación de empleo contempladas en los rangos de 11,1% en empresas con generación de >200 empleos, seguida del 8,4% en empresas generadoras de 0 a 10 empleos y en los rangos más bajos las empresas con capacidad de contratación de 10 a 200 empleos con índices entre 7,5% y 6,9%, estos índices son atribuidos a los procesos automatizados que se implementan o la demanda de dichos productos en el mercado.

Por último, se evalúan las actividades definidas como otras dentro de las que se incluyen pequeños negocios familiares, cigarrerías, licorerías, entre otras con tasas de empleo del 1,9% la más alta en contratación de 10 a 50 personas en promedio, una tasa intermedia de 0,6% en contratación de 0 a 10 personas y un índice nulo 0% en contratación de >200 y de 51 a 200 personas, frente al 100% de la clasificación de las actividades y tasas generadoras de empleo, como lo muestra la figura 6.

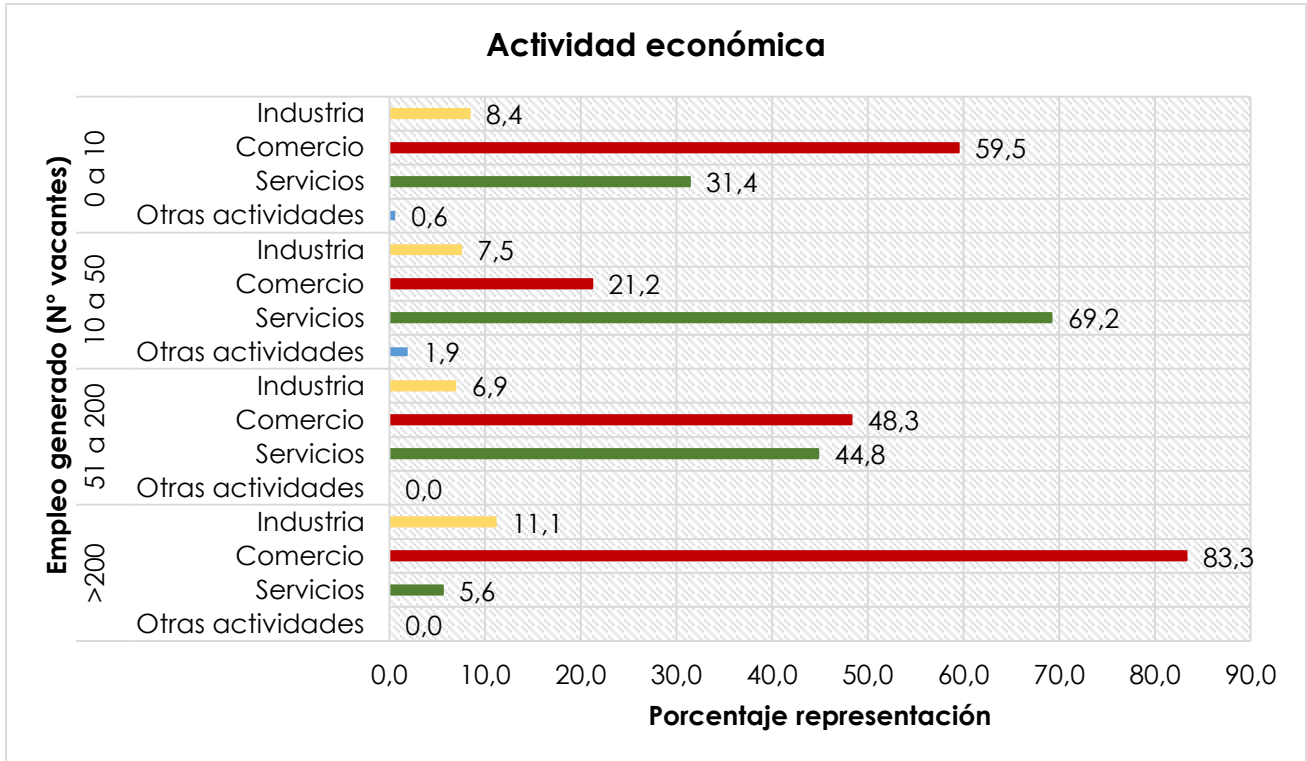


Figura 5. Índices de empleo en actividades económicas del municipio de Facatativá

Adaptado de: (DANE, 2010)

Planteamiento del problema

La cuenca del río Botello como parte del borde urbano sur del municipio de Facatativá, durante los últimos años ha venido presentando un incremento potencial de contaminación por el aumento de los asentamientos urbanos que generan vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos como parte de las actividades de desarrollo económico. Estas actividades, se dividen en tres sectores fundamentalmente; (1) productor de materia prima para procesos industriales, (2) transformador de materias primas generadas en el primer sector y (3) el turismo y comercio a gran escala (Alcaldía de Facatativá - Cundinamarca, 2016). Estas actividades dejan como resultado, prácticas agropecuarias poco amigables derivadas del uso masivo del recurso hídrico contaminado en cultivos de flores, hortalizas, legumbres y tubérculos que aprovechan la posición geográfica.

Esto a su vez, alimenta una problemática ambiental que conlleva al deterioro del recurso hídrico, las especies vegetales y la afectación a las poblaciones de fauna y flora propia de la zona, así como las repercusiones a otras escalas por falta de planificación y gestión de los recursos (Vega, 2011).

En 2015 se realizó un estudio hidrodinámico de un tramo del río Botello, involucrando la determinación de variables de contaminación de la cuenca del río Botello como, pH, temperatura, turbiedad, color aparente, conductividad, DQO, DBO5, fosfatos, hierro, nitratos, nitritos, manganeso, oxígeno disuelto, solidos disueltos totales y parámetros microbiológicos como *E-Coli* y Coliformes totales, a fin de conocer el comportamiento hidrodinámico del tramo comprendido por la cabecera municipal del municipio como zona de influencia, encontrando exceso de fósforo, déficit de oxígeno disuelto, altos contenidos de nitratos y en algunos puntos presencia de *Escherichia Coli* (Paiba & Monroy, 2015). Si bien, esta información es relevante y permite establecer las variables que se encuentran fuera de norma, en la revisión bibliográfica realizada no se encontró ninguna investigación que permita de forma global definir la calidad del agua del Río Botello en ninguno de sus

tramos, así como tampoco se entrega información sobre las condiciones de contaminación que presenta el cuerpo hídrico.

En función de esto, se pretende calcular el grado de calidad de la microcuenca alta y baja del Río Botello, en términos de bienestar humano, independientemente de su uso (turístico, domestico, transporte), a través del Índice de Calidad (ICA), definido como la suma de los resultados de la determinación de variables físicas, químicas y microbiológicas del agua (IDEAM, 2011). Teniendo en cuenta que el Índice de Calidad (ICA) permite el análisis de los principales orígenes de la contaminación, pero que impide la identificación de forma específica la contaminación presente, este proyecto permite de igual manera un análisis de cuatro indicadores de contaminación (ICO), los cuales permiten precisar los problemas ambientales con los que cuenta el recurso a la fecha (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997).

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Evaluar los indicadores de calidad de la microcuenca alta del Río Botello ubicado en el municipio de Facatativá, a partir de sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

1.4.2. Específicos

- Determinar las entradas y salidas de agua de la microcuenca alta del Río Botello monitoreadas por el municipio.
- Analizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los puntos de interés identificados.
- Determinar los índices de calidad e indicadores de contaminación de la microcuenca alta del Río Botello.

1.5. Metodología

El proyecto sugerido se desarrolló mediante investigación explicativa en tres etapas siguiendo una cadena lógica, descrita por:

- **Fase I – Reconocimiento**

Dando cumplimiento al primer objetivo específico se ejecuta una visita de observación directa durante la cual se logró recolectar información del entorno con apoyo de los entes gubernamentales encargados del control y preservación como la secretaria de obras públicas del municipio, durante esta se lograron identificar las entradas² y salidas³ de agua de la microcuenca, fuentes contaminantes y actividades económicas que se abastecen del agua del río Botello, partiendo del Kilómetro 2 del nacimiento de este cuerpo de agua.

Para su completo desarrollo se extrajeron las coordenadas de los puntos de muestreo aguas arriba o zonas de captación y aguas abajo o zonas de vertimiento que contaban con información completa que permitiera la identificación de los índices de calidad (ICA) y contaminación (ICO) previstos por año analizado con variaciones en el aumento de los puntos monitoreados, dicha información fue otorgada por la empresa de aguas del municipio de Facatativá, quienes igualmente proveyeron los análisis de laboratorio con resultados numéricos ejecutados por los laboratorios avalados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Para la ubicación de las coordenadas geográficas determinadas para los puntos de muestreo por la empresa de aguas del municipio de Facatativá se empleó la herramienta Google Earth mediante la herramienta de marca de posición. Posteriormente, se realizó la organización y sistematización de la información recolectada y se mantuvo investigación bibliográfica permanente, así mismo se realizó una digitalización de recursos cartográficos

² **Entrada:** Vertimientos derivados de actividades domésticas, pecuarias y agrícolas de índole tecnificado y artesanal, así como aguas y otros componentes de escorrentía y otras actividades de desarrollo socioeconómico.

³ **Salidas:** Captaciones de agua pertenecientes al cuerpo hídrico para actividades de desarrollo económico, agrícola, pecuario y otras actividades del municipio.

suministrados y otros estudios que surgieron a medida que se desarrollaba el proceso investigativo.

▪ **Fase II – Establecimiento puntos de interés**

Dados los datos de monitoreo por parte de la empresa de aguas de Facatativá y los promedios de caudal de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) como resultado de los datos arrojados por las estaciones de El Recreo, Altamira, La Tribuna, Rebose Gatillo, Hacienda Grande, Puente Brasilia y Hacienda La Virginia pertenecientes a las corrientes de los Ríos Andes y Bojacá sobre los cuales nace y desemboca el Río Botello, se identificaron los puntos de monitoreo a trabajar teniendo en cuenta el sistema de indicadores hídricos compuesto por el estudio de dos índices como lo son: los índices de calidad (ICA) y contaminación (ICO). Así mismo se identificó que en los puntos de monitoreo se ejecutaron muestreos de tipo simple durante los años 2015 y 2016 en puntos aguas arriba y compuesto durante tres años analizados 2014, 2015 y 2016 para puntos aguas abajo; para llegar a los índices mencionados se hizo necesaria la sistematización de los datos arrojados de subíndices determinados en los índices de calidad del agua (ICA) y de contaminación del agua (ICO).

Los muestreos realizados para el análisis de los años 2014, 2015 y 2016 por orden de la Empresa Aguas de Facatativá, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios SAS ESP, fueron ejecutados por parte de los laboratorios contratados Antek S.A. (2014) y Anascol S.A.S (2015 – 2016) avalados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, así como la medición de los caudales fue llevada a cabo con apoyo de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR arrojando los resultados requeridos como base de la evaluación de los índices de este trabajo.

Los muestreos y posterior análisis se ejecutaron en periodos tanto húmedos como secos con temperaturas promedio entre los 17,7° C y 25,3° C siendo de las más altas registradas para los periodos bimodales del municipio en los años 2015 y 2016 y durante el año 2014 se ejecutaron durante las épocas de tiempo seco con un promedio de temperatura ambiente de 19°C, se tomaron en promedio de 4 a 9 muestras por punto de vertimiento identificado y posteriormente fueron entregados los resultados

promedio para el análisis en los laboratorios avalados por el IDEAM, dichos muestreos se realizaron en el transcurso de un (1) día a diversas horas establecidas en planillas de recolección de datos de campo, con ello se pudieron verificar los cambios sobre las condiciones climáticas y la influencia del incremento en los asentamientos urbanos y rurales, construcciones, periodicidad de lluvias, uso de químicos, entre otros; en resumen el incremento de actividades económicas que pudiesen representar cambios importantes en la calidad del agua durante el periodo de investigación y evaluación de los criterios establecidos en el estudio de los recursos hídricos (Comisión Nacional del Agua, 2012).

▪ **Fase III – Determinación de índices**

En esta fase se determinaron los índices de calidad de agua (ICA) y contaminación (ICO) mediante modalidad sistematizada empleando el programa ICA Test, una Herramienta para la Valoración de la Calidad del Agua (Fernandez & Solano, 2005). Considerando que algunos subíndices como ICOTRO no pueden ser calculados empleado ICA Test, al igual que otros subíndices requeridos para determinar el índice de calidad de agua (ICA) se procedió al cálculo manual, teniendo en cuenta los conceptos del sistema de indicadores hídricos de intervención antrópica. Posteriormente se realizó el análisis de los resultados obtenidos en comparación con la demanda hídrica de las diversas actividades desarrolladas en el municipio.

Como parte del sistema de indicadores hídricos de intervención antrópica (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014) Los subíndices de calidad de agua trabajados están dados por:

- *Oxígeno disuelto, OD (Dissolved Oxygen, DO, por sus siglas en inglés):* El oxígeno se constituye como compuesto libre y disponible en los recursos hídricos, convirtiéndose en un componente esencial para el desarrollo de especies acuáticas (como peces), así como para la prevención de olores ofensivos. El nivel de oxígeno disuelto en los recursos hídricos permite determinar la capacidad de sostener la vida acuática esperada o deseable (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA, 2016), es decir, permite definir la ausencia o presencia de estas.
- *Sólidos suspendidos totales, SST (Total Suspended Solids, TSS, por sus siglas en inglés):* Refiere a las partículas sólidas pequeñas que se hallan en suspensión tanto

en efluentes, o cuerpos de agua y aguas residuales (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA, 2016) que permiten asociar la presencia de vertimientos de procesos industriales, residuos de escorrentías, procesos erosivos, disposición de material sólido, entre otros.

- *Demanda Química de oxígeno, DQO (Chemical Oxygen Demand, COD, por sus siglas en inglés)*: Refiere a la cantidad de oxígeno requerido o necesario para oxidar los compuestos encontrados en el agua tanto de origen orgánico como inorgánico (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA, 2016), este parámetro permite identificar la presencia de sustancias químicas susceptibles a la oxidación, dadas las condiciones de temperatura y condiciones de pH del recurso hídrico.
- *Conductividad eléctrica, C.E.* (: Permite evaluar la mineralización de material ligado a la suma de cationes y aniones.
- *pH (pH)*: Expresión de la intensidad de condiciones alcalinas o ácidas de un medio líquido, dichas expresiones varían entre 0 y 14, en el que 0 constituye condiciones de acidez y 7 condiciones de neutralidad. En los cuerpos hídricos se establece un rango de 6.5 y 8.5 normalmente (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA, 2016) determinando con ello la afectación del uso del recurso por actividades económicas desarrolladas.
- *Nitrógeno Total/Fosforo Total, NT/PT (Total nitrogen/Total Phosphorus, TN/TP, por sus siglas en inglés)*: Los compuestos de nitrógeno y fósforo provienen del uso de los fertilizantes usados en procesos agrícolas que deja como resultado en los cuerpos hídricos eutrofización (Orjuela, Saldarriaga, García, & Wilches, 2010). La medición de estos componentes permite la medición de deterioro del recurso por las actividades antrópicas sobre el recurso en estudio y el balance de nutrientes para desarrollo de producción acuícola, ya que favorecen el crecimiento excesivo de plantas macrófitas que consumen el oxígeno disponible limitando la producción de peces.

Profundizando en la identificación de contaminantes específicos del río, el análisis de los índices de calidad se complementó con los indicadores de contaminación ICO's (índices de contaminación) (Cañas, (s,f)), dentro de esta evaluación se contemplaron:

- **ICOMI** o parámetro de mineralización, involucrando parámetros como Conductividad, Dureza y Alcalinidad.
- **ICOMO** o índice de contaminación por materia orgánica, involucrando parámetros como % oxígeno (porcentaje de oxígeno), coliformes totales y demanda biológica de oxígeno (DBO₅).
- **ICOSUS** o parámetro de contaminación por sólidos suspendidos.
- **ICOTRO** o índice de contaminación trófica (estudio de la concentración de fósforo) (Jiménez & Vélez, 2006).

Con los resultados obtenidos de la evaluación de dichas variables se derivó una actualización de ciertos parámetros de contaminación obtenidos de estudios anteriores (Paiba & Monroy, 2015) permitiendo una confrontación de análisis de resultados.

Aspectos considerados para la evaluación

2.1. Reconocimiento de la zona intervenida

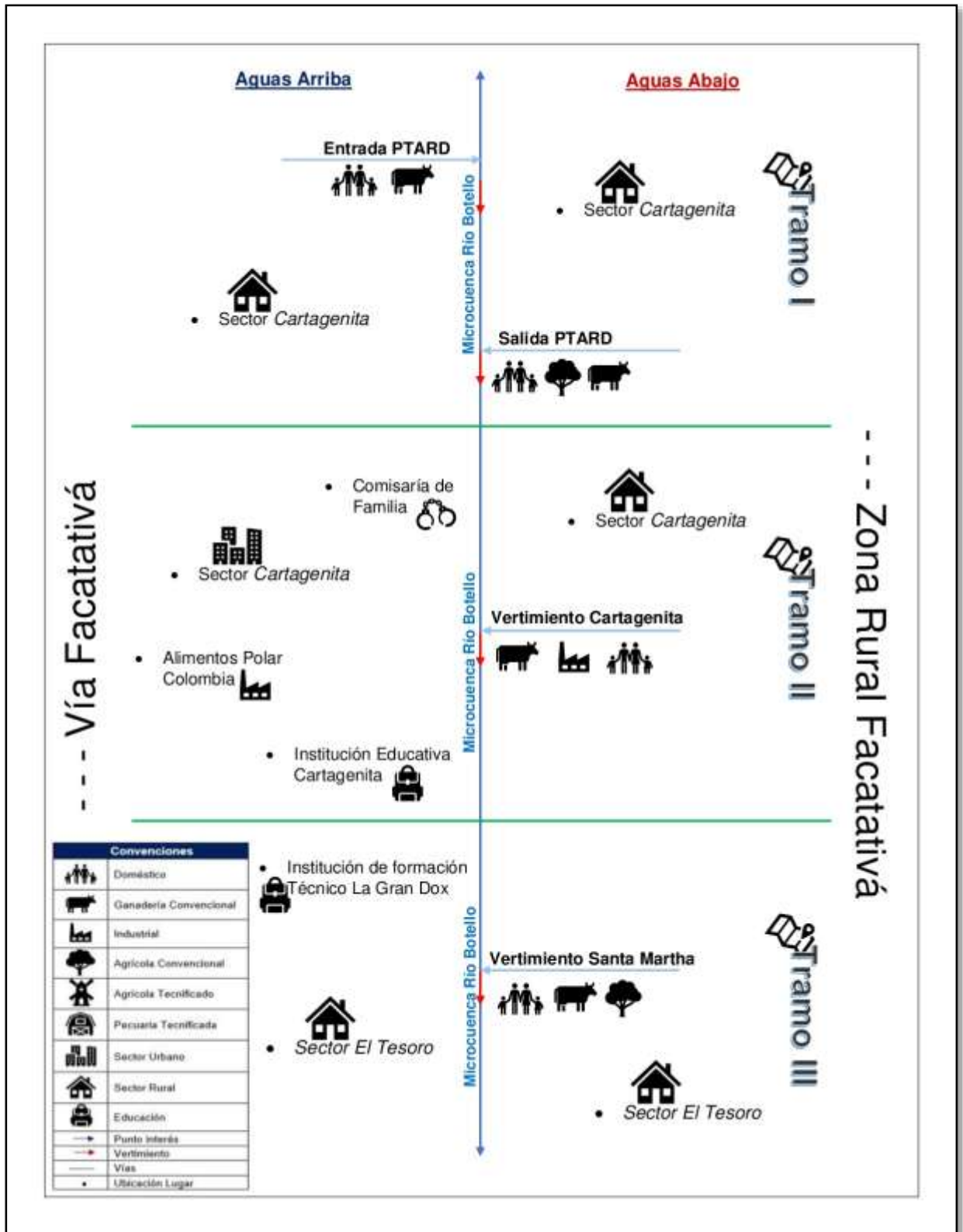
Durante la visita de reconocimiento de la zona a intervenir, es decir, el tramo desde el nacimiento hasta su ingreso a la cuenca del Río Bojacá se pudieron identificar problemáticas que afectan el recurso hídrico del municipio como:

- ✓ Factores climáticos (precipitaciones, temperatura) y sus cambios a lo largo del año durante los periodos de sequía y humedad del municipio.
- ✓ Vertimiento de material de escorrentía en las laderas del Río, especialmente sobre el sector de Los Andes.
- ✓ Vertimiento de aguas residuales como producto de actividades industriales, domésticas y agropecuarias.
- ✓ Actividades agrícolas, sistema de riego y método de siembra (Rotativo)
- ✓ Actividades pecuarias presentes en la ladera del Río Botello y su magnitud de ocupación, así como el impacto en la microcuenca.
- ✓ Cubrimiento de vegetación nativa y foránea en la zona rural y laderas del cuerpo hídrico.
- ✓ Sistema de captación del agua en las laderas agrícolas del Río
- ✓ Sistemas de almacenamiento en embalses para abastecimiento del acueducto.
- ✓ Actividades industriales en el municipio, tanto en la zona urbana como rural.
- ✓ Demanda hídrica por actividades según información otorgada por entes gubernamentales y otros estudios.

2.2. Establecimiento puntos de interés

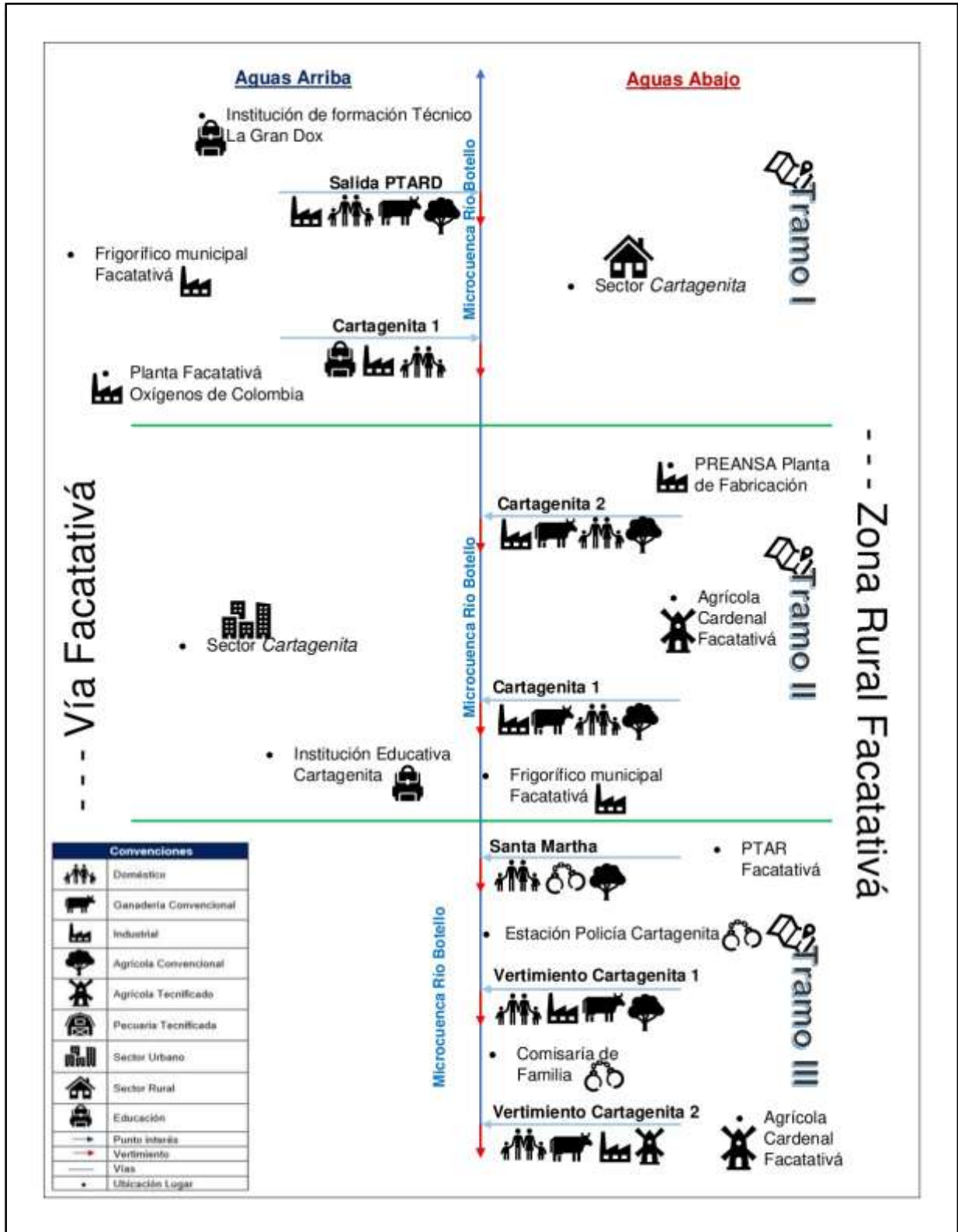
La caracterización de los puntos de interés identificados a lo largo de la cuenca hidrográfica del Río Botello, así como de las actividades identificadas en el reconocimiento de la zona intervenida se pueden observar de modo anual en los mapas 3 a 5, en los cuales se presentan los objetivos y usos del agua, así como el tipo de actividades ejecutadas en la ladera del mismo:

Mapa 4. Identificación de objetivos del afluente – Río Botello año 2014



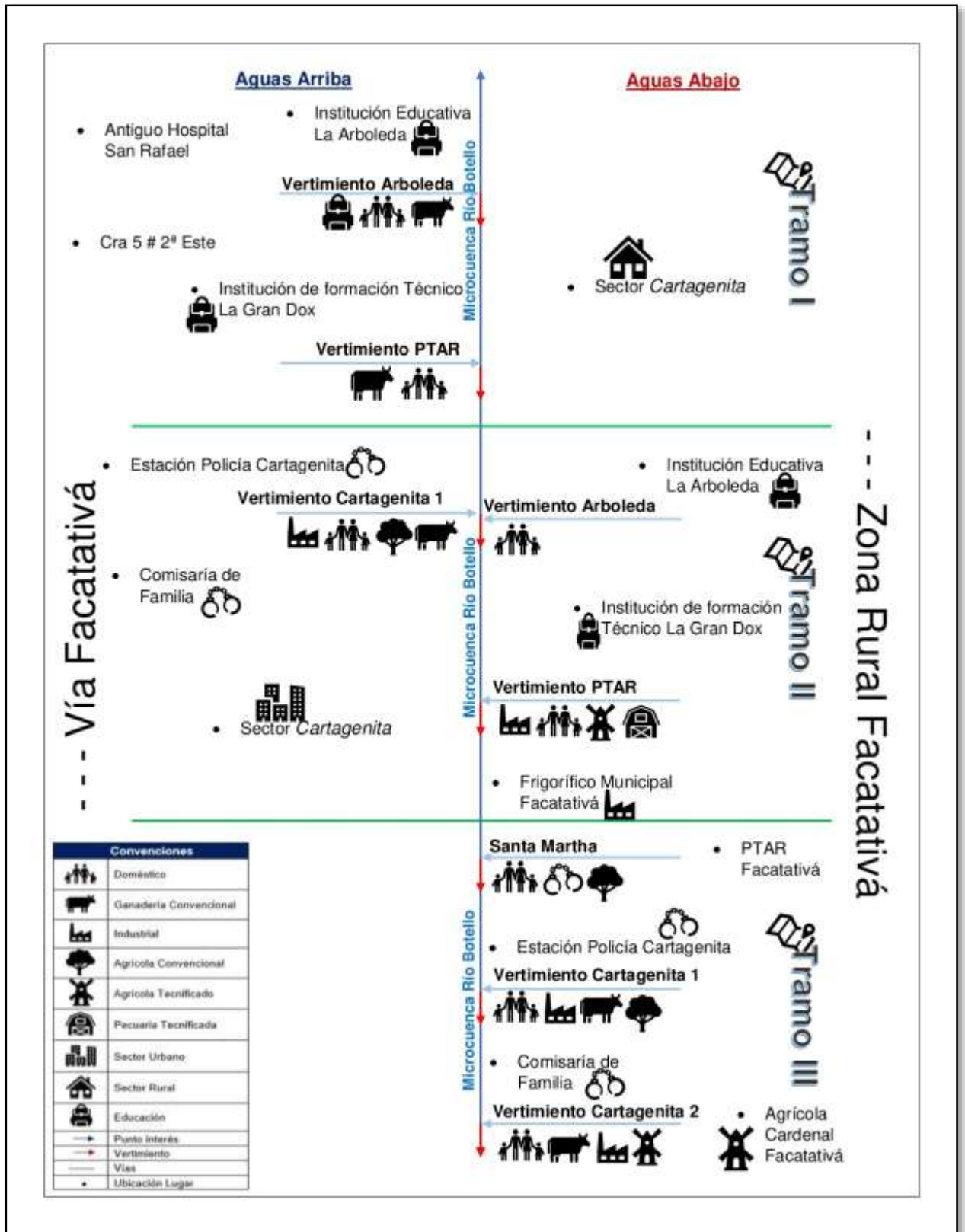
Autor

Mapa 5. Identificación de objetivos del afluente – Río Botello año 2015



Autor

Mapa 6. Identificación de objetivos del afluente – Río Botello año 2016



Autor

Dentro de la identificación de los puntos de monitoreo se tomaron aquellos que tuvieron las caracterizaciones más completas que permitieran determinar los índices de calidad de agua (ICA) y de contaminación (ICO) como los que se enlistan en las tablas 2 a 4, lo que establece un total de 19 puntos de interés distribuidos a lo largo de la microcuenca en estaciones de monitoreo estipuladas y entregadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), posteriormente consolidadas en la tabla 1, estos tramos de ubicación de los puntos son denominados como aguas arriba o llegada del agua al punto de muestreo y aguas abajo en donde se determinaron los puntos con mayor cantidad de actividad antrópica y por ende de vertimientos:

Tabla 1. Estaciones de muestreo determinadas para la microcuenca del Río Botello

CÓDIGO	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (m.s.n.m)	CORRIENTE
2120756	El Recreo	04°47'55,3"	74°20'0,8"	2600	R. Bojacá
2120795	Altamira	04°50'10,7"	74°21'36,6"	2597	Q. El Vino
2120912	Tribuna	04°51'49,9"	74°24'51,1"	2722	R. Andes
2120964	Rebose Gatillo	04°48'44,2"	74°21'32,9"	2611	R. Bojacá
2120965	Hacienda Grande	04°50'23,1"	74°22'40,9"	2616	R. Pava
2120972	Puente Brasilia	04°49'8,3"	74°21'54,7"	2627	Q. Mancilla
2120984	Hacienda La Virginia	04°50'54,7"	74°23'9,8"	2640	R. Andes

Adaptada de: (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2017)

Tabla 2. Puntos de interés identificados año 2014

Año	N.	Punto Muestreo	Tipo Agua	Tipo Muestreo	Coordenadas		Ubicación Punto
					N	W	
2014	1	Entrada PTARD	Residual Doméstica	Compuesto	04° 48' 03,2"	- 74° 19' 57,9"	Aguas Arriba
	2	Salida PTARD	Residual Doméstica	Compuesto	04° 47' 59,7"	- 74° 19' 57,7"	Aguas Abajo
	3	Vertimiento Cartagenita	Residual Industrial	Compuesto	04° 47' 22,8"	- 74° 19' 51,6"	Aguas Abajo
	4	Vertimiento Santa Martha	Residual Industrial	Compuesto	04° 48' 06,5"	- 74° 20' 11,2"	Aguas Abajo

Adaptada de: (ANTEK, 2014)

Una vez parametrizados los puntos identificados en el año 2014 de la Tabla 2 se presentan las ubicaciones respectivas haciendo uso de la herramienta Google Earth Pro en la Figura 7.



Figura 6. Identificación puntos de interés año 2014
Adaptado de: (Google Earth, 2015)

De igual forma se parametrizan los puntos identificados en el año 2015 y 2016 presentados en las Tablas 3 y 4, respectivamente, y se presentan las ubicaciones haciendo uso de la herramienta Google Earth Pro, en las Figuras 8 y 9.

Tabla 3. *Puntos de interés identificados año 2015*

Año	Punto Muestreo	Tipo Agua	Tipo Muestreo	Coordenadas		Ubicación Punto
				N	W	
2015	Salida PTAR	Superficial	Simple	04° 48' 00.7"	- 74° 20' 00.6"	Aguas Arriba
	Cartagenita 1	Superficial	Simple	04° 47' 15.3"	- 74° 19' 36.2"	Aguas Arriba
	Cartagenita 1	Superficial	Simple	04° 47' 19.7"	- 74° 19' 38.4"	Aguas Abajo
	Cartagenita 2	Superficial	Simple	04° 47' 12.2"	- 74° 19' 33.3"	Aguas Abajo
	Santa Martha	Superficial	Simple	04° 47' 53.9"	- 74° 19' 56.5"	Aguas Abajo
	Vertimiento Cartagenita 1	Residual Industrial	Compuesto	04° 47' 23.0"	- 74° 19' 51.4"	Aguas Abajo
	Vertimiento Cartagenita2	Residual Industrial	Compuesto	04° 47' 16.6"	- 74° 19' 37.7"	Aguas Abajo

Adaptada de: (Análisis de aguas y suelos - ANASCOL, 2015)

Tabla 4. *Puntos de interés identificados año 2016*

Año	Punto Muestreo	Tipo Agua	Tipo Muestreo	Coordenadas		Ubicación Punto
				N	W	
2016	Vertimiento Arboleda	Superficial	Simple	04° 48' 27.8"	- 74° 20' 47.9"	Aguas Arriba
	Vertimiento PTAR	Superficial	Simple	04° 48' 5.13"	- 74° 20' 04.1"	Aguas Arriba
	Vertimiento Cartagenita 1	Superficial	Simple	04° 47' 23.05"	- 74° 19' 51.4"	Aguas Arriba
	Vertimiento Arboleda	Superficial	Simple	04° 48' 26.8"	- 74° 20' 47.2"	Aguas Abajo
	Vertimiento PTAR	Superficial	Simple	04° 48' 03.4"	- 74° 20' 02.4"	Aguas Abajo
	Vertimiento Santa Martha	Superficial	Simple	04° 47' 55.8"	- 74° 19' 59.3"	Aguas Abajo
	Vertimiento Cartagenita1	Residual Industrial	Compuesto	04° 47' 23.0"	- 74° 19' 51.4"	Aguas Abajo
	Vertimiento Cartagenita 2	Residual Industrial	Compuesto	04° 47' 15.6"	- 74° 19' 37.2"	Aguas Abajo

Adaptada de: (Análisis de Agua y Suelos de Colombia - ANASCOL, 2016)



Figura 7. Identificación puntos de interés año 2015
Adaptado de: (Google Earth, 2015)

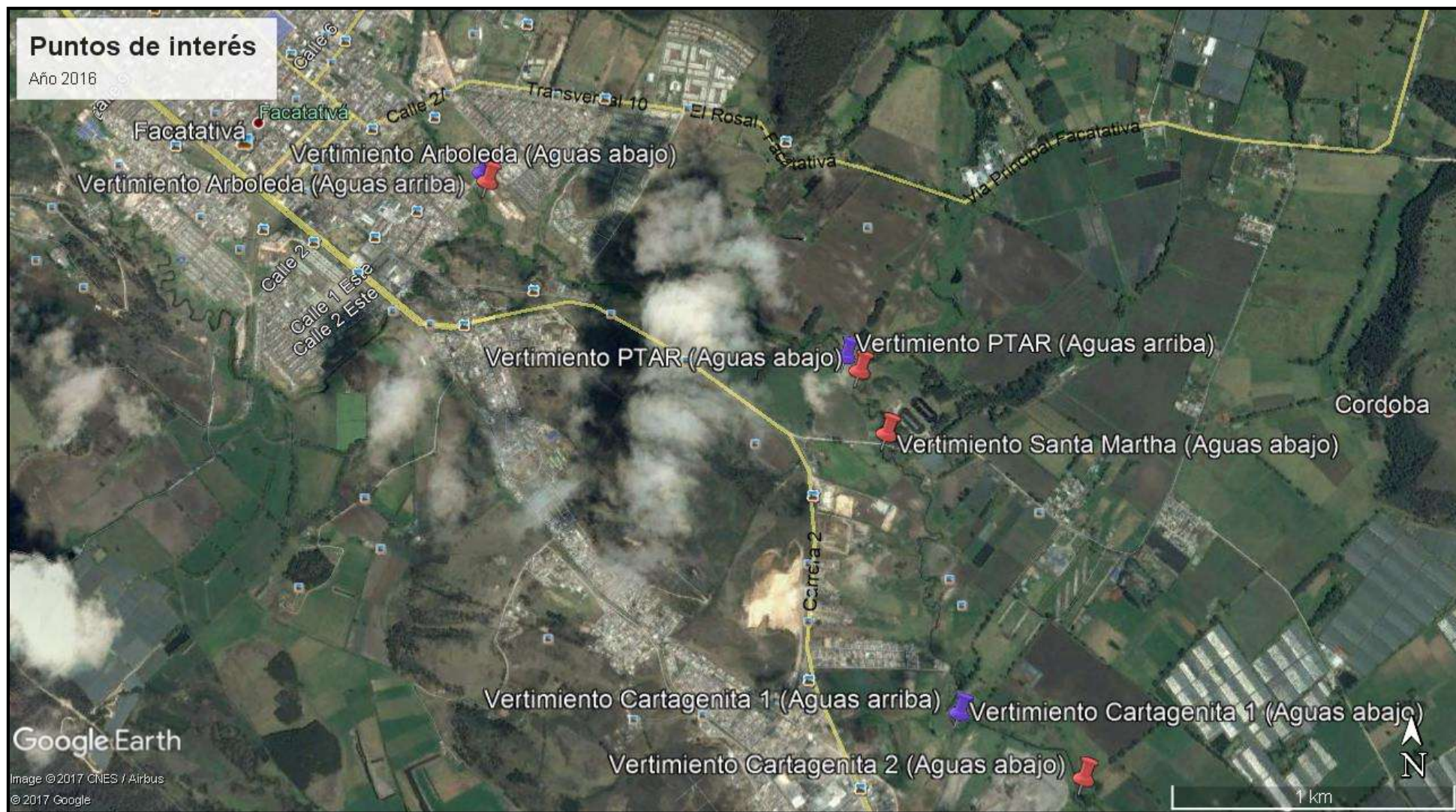


Figura 8. Identificación puntos de interés año 2016
Adaptado de: (Google Earth, 2015)

Monitoreo calidad de agua

El monitoreo hace parte fundamental de la evaluación de la calidad del agua de los afluentes hídricos del municipio que tienen como uso actividades de riego, turismo, consumo humano, entre otros; y cuyos cuerpos hídricos reciben efluentes provenientes de dichas actividades (agrícolas, pecuarias, domésticas e industriales) del municipio de Facatativá.

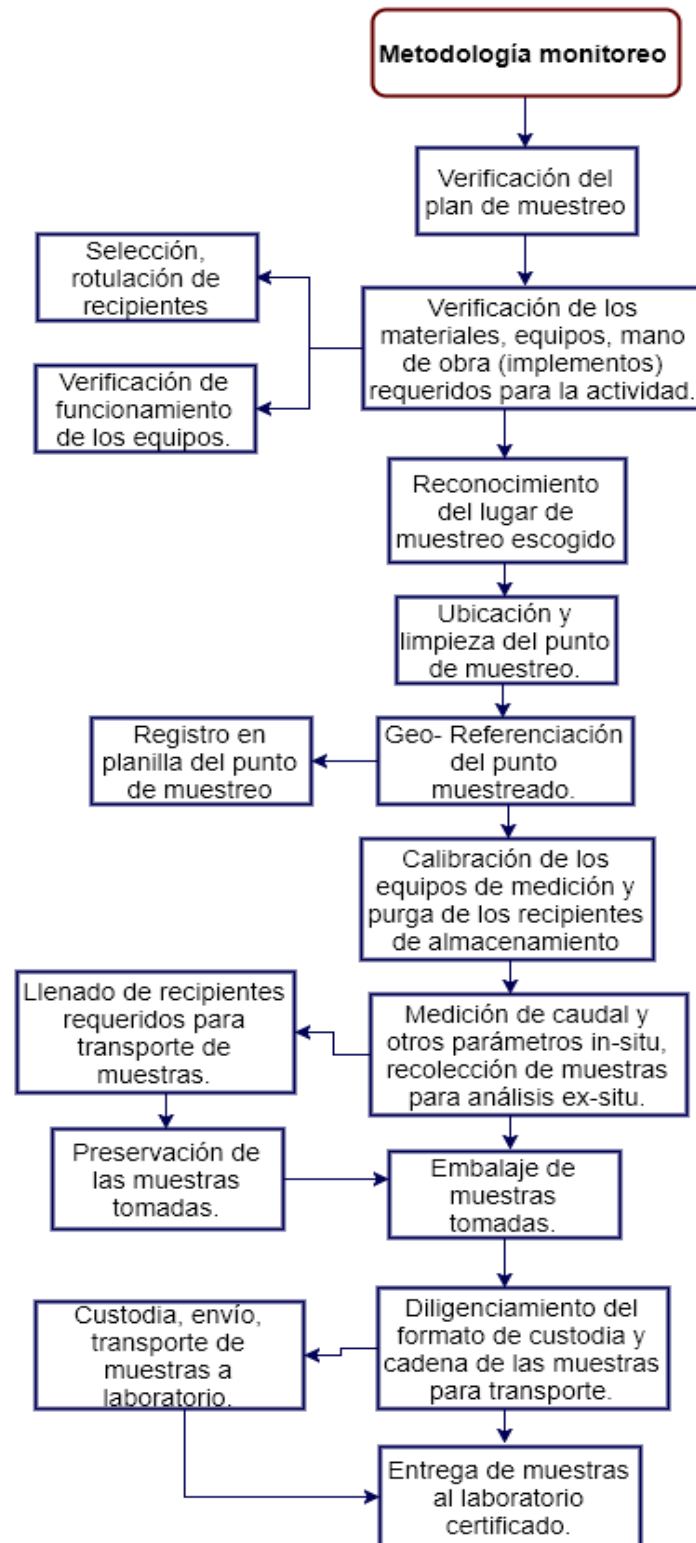
Mediante procesos operacionales de control (Organización Mundial de la Salud - OMS, s.f.), los entes encargados de la identificación, designación de puntos, toma de muestras, de control y gestión del afluente, determinan los puntos de muestreo bajo propósitos de:

- ✓ Identificación de las áreas que requieren evaluación y gestión de carácter urgente o inmediato sobre la contaminación determinada vertida por usos y criterios del agua del municipio.
- ✓ Protección de la población consumista del agua en estudio, determinando medidas efectivas de control en el mejoramiento de la calidad del agua.
- ✓ Determinación del efecto de los cambios en el cuerpo de agua por entradas y vertimientos en el sistema hídrico.
- ✓ Determinar la capacidad máxima de vertimientos al afluente descargados por las actividades económicas y sociales presentes en el municipio.
- ✓ Medición de la calidad del agua durante los cambios periódicos de clima de modo que se puedan proponer acciones preventivas de gestión.

Los procedimientos para llevar a cabo el monitoreo de la calidad de los afluentes hídricos del municipio y específicamente la microcuenca del Río Botello siguen los lineamientos recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos – U.S. EPA – en su Handbook for Analytical Quality Control in Wastewater Laboratories y las técnicas

de análisis especificadas en el American Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 22nd Ed por la American Water Works Association – AWWA.

En el mapa 6 se presenta de una manera conceptual la metodología sugerida y recomendada para la ejecución del monitoreo de la calidad del agua:

Mapa 7. Metodología para ejecución de monitoreo

Autor

3.1. Determinación de parámetros

Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la microcuenca del Río Botello del municipio de Facatativá permiten la identificación de las cargas contaminantes vertidas derivadas de las actividades agrícolas, pecuarias, industriales y domésticas propias de la zona. Estas mediciones se llevaron a cabo en laboratorios certificados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM bajo los protocolos referenciados en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, trabajo conjunto entre la Asociación Americana de Salud Pública (APHA – por sus siglas en inglés), Asociación Americana de Obras de Agua (AWWA - por sus siglas en inglés) y la Federación del Medio Ambiente del Agua (WEF – por sus siglas en inglés). Con base en ello, se presentan en las tablas 5 a 7 la identificación de los métodos utilizados por los laboratorios ANTEK (responsable del análisis de muestras del año 2014) y ANASCOL (responsable del análisis de muestras años 2015 – 2016) para cada parámetro medido o identificado por año indicado:

Tabla 5. Técnicas utilizadas para análisis de muestras año 2014

Parámetro analizado	Unidad	Técnica utilizada
Año 2014		
Conductividad	μS/cm	No registra parámetro
Coliformes Totales	NMP/1000 ml	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 9222 Membrane filter technique for members of the coliform group NTC 4772/2008
Coliformes Fecales	NMP/1000 ml	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 9222 Membrane filter technique for members of the coliform group NTC 4772/2008
Dureza	mg CaCO ₃ /L	No registra parámetro
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	No registra parámetro
Ortofosfatos	mg P.PO ₄ /L	No registra parámetro
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg O ₂ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5210 Biochemical Oxygen Demand Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500 Oxygen Dissolved
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5220 Chemical Oxygen Demand

Fosforo Total	mg P/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500P Phosphorus
Nitrógeno Total	mg NT/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500N Nitrogen
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2540D Solids
Solidos Sedimentables	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2540F Solids
pH	-	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500 pH value
Temperatura	°C	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2550 Temperature of water
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	No registra parámetro

Adaptada de: (ANTEK, 2014)

Nota: Recuperado de Caracterización fisicoquímica del agua residual doméstica e industrial generada en el municipio de Facatativá. Copyright 2014 por Antek. Reproducido con permiso.

Tabla 6. Técnicas utilizadas para análisis de muestras año 2015

Parámetro analizado	Unidad	Técnica utilizada
Año 2015		
Conductividad	µS/cm	No registra técnica
Coliformes Totales	NMP/1000 ml	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 9223B Enzyme Substrate Test
Coliformes Fecales	NMP/1000 ml	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 9223B Enzyme Substrate Test
Dureza	mg CaCO ₃ /L	No registra parámetro
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	No registra parámetro
Ortofosfatos	mg P.PO ₄ /L	No registra parámetro
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg O ₂ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5210B Biochemical Oxygen Demand
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5220D Chemical Oxygen Demand
Fosforo Total	mg P/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500P Phosphorus

Nitrógeno Total	mg NT/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500N Nitrogen
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2540D Solids
Sólidos Sedimentables	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2540F Solids
pH	-	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500 pH value
Temperatura	°C	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2550B Temperature of water
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	No registra parámetro

Adaptada de: (Análisis de aguas y suelos - ANASCOL, 2015)

Nota: Recuperado de Análisis fisicoquímico de agua cruda superficial, caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de aguas superficiales receptoras de vertimientos y caracterización fisicoquímica de aguas residuales. Copyright 2015 por Anascol S.A.S. Reproducido con permiso.

Tabla 7. Técnicas utilizadas para análisis de muestras año 2016

Parámetro analizado	Unidad	Técnica utilizada
Año 2016		
Conductividad	µS/cm	No registra técnica
Coliformes Totales	NMP/1000 ml	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 9223B Enzyme Substrate Test
Coliformes Fecales	NMP/1000 ml	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 9223B Enzyme Substrate Test
Dureza	mg CaCO ₃ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2310B Acidity
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2320B Titration Method
Ortofosfatos	mg P.PO ₄ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500P-E Ascorbic Acid Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg O ₂ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5210B Biochemical Oxygen Demand
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5220D Chemical Oxygen Demand

Fosforo Total	mg P/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500P Phosphorus
Nitrógeno Total	mg NT/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500N Nitrogen
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2540D Solids
Solidos Sedimentables	mg/L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2540F Solids
pH	-	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500 pH value
Temperatura	°C	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2550B Temperature of water
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500-O Oxygen Dissolved

Adaptada de: (Análisis de Agua y Suelos de Colombia - ANASCOL, 2016)

Nota: Recuperado de Análisis fisicoquímico de agua cruda superficial, caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de aguas superficiales receptoras de vertimientos y caracterización fisicoquímica de aguas residuales. Copyright 2016 por Anascol S.A.S. Reproducido con permiso.

4. Determinación de Índices

Para la estimación de la disponibilidad y calidad del agua en el país, las autoridades ambientales desarrollaron el “Sistema de Indicadores Hídricos - SIH” a fin de determinar las afectaciones de las actividades humanas sobre la oferta del recurso (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. , 2014), teniendo en cuenta las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de los cuerpos hídricos y de las variables de contaminación, dentro de estos se contemplan la materia orgánica, la acidez, el pH, oxígeno disponible, temperatura, mineralización, entre otros. Con estos parámetros se integran los indicadores de calidad (ICA) y contaminación (ICO) los cuales se evaluaron y se presentan para la microcuenca del Río Botello en los numerales consiguientes.

Dentro de los parámetros que permiten determinar la calidad de agua se contemplan los físicos, químicos y microbiológicos.

- a. **Parámetros físicos:** Estos parámetros se identifican como aquellos que alteran los aspectos físicos de un componente hídrico, así como los sentidos humanos como la vista, el gusto y el olfato. Estas características inciden de una manera directa en las condiciones estéticas y admisibles del agua, dentro de estas características se contemplan factores como turbiedad, color, olor, sabor, temperatura, pH y sólidos solubles e insolubles (Organización Panamericana de la Salud, s.f.).
- b. **Parámetros químicos:** Son identificados durante la modificación de balance químico en el cuerpo hídrico que tienen incidencia en la salud de los seres humanos, dentro de estas características se encuentran los aceites y grasas, agentes espumantes, alcalinidad y metales (Organización Panamericana de la Salud, s.f.).

- c. Parámetros microbiológicos:** Las aguas superficiales poseen una amplia cantidad de organismos presentes, sin embargo, muchos de esos microorganismos son considerados como contaminantes que pueden alterar la calidad de dicho recurso hídrico, dentro de estos microorganismos considerados como organismos productores de toxinas se encuentran bacterias como *E. Coli*, *Salmonella*, *Vibrio cholerae*, virus como *enterovirus*, *rotavirus*, *adenovirus* entre otros.

Dentro de los factores que constituyen la calidad de agua se contemplan:

- ✓ *Oxígeno disuelto*, OD: Definido como la cantidad de oxígeno encontrado en el agua necesario para la sobrevivencia y desarrollo de organismos acuáticos en niveles altos y medios de concentración, la falta de este compuesto puede causar la reducción del crecimiento de organismos y muerte. La concentración del oxígeno disuelto se mide en miligramos por litro (mg/L), este factor puede variar en función de los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto de las aguas residuales que ingresan al cuerpo hídrico o vertimientos (State Water Resources, s.f.).
- ✓ *Sólidos suspendidos totales*, SST: Son definidos como aquellos sólidos suspendidos o material particulado que no es retenido en un proceso de filtrado lo que permite asociar la presencia de vertimientos de procesos industriales, residuos de escorrentías, procesos erosivos, disposición de material sólido, entre otros. La concentración de estos sólidos se mide en miligramos por litro (mg/L) con lo que se puede evaluar la calidad de agua dispuesta para consumo humano en las zonas urbanas y rurales con acceso al cuerpo hídrico en estudio (Departamento Administrativo Nacional De Estadística, 2005).
- ✓ *Demanda Química de oxígeno*, DQO: Se define como la presencia de sustancias químicas susceptibles a la oxidación, dadas las condiciones de tiempo, temperatura y condiciones de pH, estas pueden ser de origen orgánico e inorgánico. La cantidad de oxidante consumido es expresado en términos de equivalencia de oxígeno, la concentración de este componente se expresa en miligramos por litro de oxígeno (mg/L O₂).

- ✓ *Conductividad eléctrica, C.E.:* Se establece como la medida de la propiedad que posee el agua para conducir corriente eléctrica que depende de la presencia de iones, este parámetro puede variar por factores como concentración, movilidad, valencia y temperatura, con este se permite evaluar la mineralización de material ligado a la suma de cationes y aniones. La concentración se expresa en micromhoms por centímetro ($\mu mho/cm$) (Instituto de Hidrología, 2006).
- ✓ *pH:* Permite medir la acidez del recurso y determinar con ello la afectación del uso del recurso en las actividades económicas desarrolladas. La medición de este parámetro se determina mediante la relación entre el número de protones (H^+ - iones) y el número de iones hidróxido (OH^-), se mide en un rango de 0 a 14 en donde las unidades menores a 7 se consideran soluciones ácidas, las unidades iguales a 7 son básicas o neutras y las unidades mayores a 7 se consideran alcalinas (Londoño, Giraldo, & Gutiérrez, 2010).
- ✓ *Nitrógeno Total/Fósforo Total, NT/PT:* Permite la medición de deterioro del recurso por las actividades antrópicas sobre el recurso en estudio y el balance de nutrientes para desarrollo de producción acuícola. El nitrógeno se determina por la relación de suma de todas las formas de nitrógeno encontrado en el cuerpo hídrico, este componente se expresa en miligramos por litro de oxígeno (mg/L) (Departamento Administrativo Nacional De Estadística, 2005).

4.1. Cálculo del ICA

Dados los vertimientos generados por las actividades antrópicas propias del municipio se registran y presentan en las tablas 8 a 10 los parámetros físicos, químicos y microbiológicos por punto a lo largo del tramo de la microcuenca del Río Botello.

Tabla 8. *Parámetros de calidad por punto año 2014*

Punto	Tipo de agua	Caudal (L/s)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	pH (Unidades)	Temperatura (°C)
Aguas Arriba										
Entrada PTARD	Residual Domestica	352,04	0,71	247,00	1230,00	69,7	9,41	0,00	7,79	19,8
Total, anual		352,04	0,71	247,00	1230,00	69,7	9,41	0,00	7,79	19,8
Aguas Abajo										
Salida PTARD	Residual Domestica	319,21	2,21	216,00	515	50,2	8,93	0,00	7,26	18,8
Vertimiento Cartagenita	Residual Industrial	17,490	2,44	333,00	902	52,8	14	0,00	8,17	19,2
Vertimiento Santa Marta	Residual Industrial	1,143	1,14	180,00	441	38,1	11,9	0,00	7,57	14,5
Total, Anual		112,61	1,93	243,00	619,33	47,03	11,61	0,00	7,67	17,5

2014

Adaptada de: (ANTEK, 2014)

Nota: Recuperado de Caracterización fisicoquímica del agua residual doméstica e industrial generada en el municipio de Facatativá. Copyright 2014 por Antek. Reproducido con permiso.

Tabla 9. Parámetros de calidad por punto año 2015

Punto	Tipo de agua	Caudal (L/s)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	pH (Unidades)	Temperatura (°C)	
Aguas Arriba											
Cartagenita 1	Superficial	66,31	0,33	277,00	471,00	85,2	3,16	0,00	7,08	23,3	
Salida PTARD	Superficial	50,54	0,15	350,00	1218,00	91,3	3,8	0,00	6,93	19,0	
Total, anual		58,43	0,24	313,50	844,50	88,25	3,48	0,00	7,01	21,15	
Aguas Abajo											
2015	Cartagenita 2	Superficial	115,88	0,15	393,00	1415,00	122,00	2,98	1536	7,25	25,3
	Cartagenita 1	Superficial	34,77	0,2	280,00	1909,00	122,00	2,33	1423	7,39	23,2
	Santa Marta	Superficial	198,06	0,73	250,00	823,00	112,00	4,23	1183	7,01	17,7
	Vertimiento	Residual	15,662	0,00	223,00	1514,00	31,4	2,43	0,00	7,41	18,2
	Cartagenita 1	Industrial									
	Cartagenita 2	Industrial	21,49	0,00	357,00	1744,00	67,8	2,88	0,00	7,39	20,9
Total, Anual		77,17	0,22	300,60	1481,00	91,04	2,97	828,40	7,29	21,06	

Adaptada de: (Análisis de aguas y suelos - ANASCOL, 2015)

Nota: Recuperado de Análisis fisicoquímico de agua cruda superficial, caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de aguas superficiales receptoras de vertimientos y caracterización fisicoquímica de aguas residuales. Copyright 2015 por Anascol S.A.S. Reproducido con permiso.

Tabla 10. *Parámetros de calidad por punto año 2016*

Punto	Tipo de agua	Caudal (L/s)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	pH (Unidades)	Temperatura (°C)
Aguas Arriba										
Vertimiento Arboleda	Superficial	0,00	1,2	28,00	363,00	30,8	3,57	723,00	6,97	17,6
Vertimiento PTAR	Superficial	3106,29	1,0	20,00	87,9	11,2	1,73	317,00	7,71	19,6
Vertimiento Cartagena 1	Superficial	3379,2	2,0	85,00	517,00	6,17	3,33	265,6	7,3	17,9
Total, anual		2161,83	1,40	44,33	322,63	16,06	2,88	435,20	7,33	18,37
Aguas Abajo										
Vertimiento Arboleda	Superficial	1319,43	0,9	290,00	510,00	82,3	9,08	967,6	7,49	20,8
Vertimiento PTAR	Superficial	3296,47	2,2	33,00	90,5	7,88	2,33	293,3	7,48	19,5
Vertimiento Santa Marta	Superficial	3455,96	1,5	36,00	234,00	4,41	2,05	728,00	7,32	17,9
Vertimiento Cartagena 2	Superficial	3788,130	1,5	46,00	311,00	15,3	1,42	257,00	7,23	17,7
Vertimiento Cartagena 1	Residual Industrial	10,89	0	228,5	801,00	49,8	7,32	280,00	7,35	19,2
Total, anual		2374,18	1,22	126,70	389,30	31,94	4,44	505,18	7,37	19,02

2016

Adaptada de: (Análisis de Agua y Suelos de Colombia - ANASCOL, 2016)

Nota: Recuperado de Análisis fisicoquímico de agua cruda superficial, caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de aguas superficiales receptoras de vertimientos y caracterización fisicoquímica de aguas residuales. Copyright 2016 por Anascol S.A.S. Reproducido con permiso.

Para el cálculo del índice de calidad (ICA) en el caso del Río Botello se empleará un sistema de seis (6) variables, en la tabla 11 se registran las ponderaciones que hacen parte de la fórmula en el cálculo de dichas variables:

Tabla 11. Variables y ponderaciones para el caso de seis (6) variables

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto (OD)	% saturación	0,17
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	0,17
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	0,17
Nitrógeno Total/Fosforo Total (NP/PT)	-	0,17
Conductividad eléctrica (C.E)	μ S/cm	0,17
pH	Unidades pH	0,15

Adaptada de: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011)

Una vez identificados, los valores obtenidos se clasificarán por categorías con las que se podrá determinar la calidad del agua de la corriente evaluada, en la tabla 12 se registra la relación de los valores con su calificación:

Tabla 12. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Adaptada de: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011)

Al calcular el índice con un sistema de seis (6) variables, el primer paso es la determinación de cada subíndice según las ecuaciones de referencia (secciones 4.1.1 – 4.1.6.), para la evaluación de este índice sobre la microcuenca del Río Botello se determinarán los subíndices por punto incluidos en los tres (3) años de información recolectada.

- **Variable (Subíndice) oxígeno disuelto (OD)**

Teniendo en cuenta que esta variable es fundamental para determinar la posible presencia o ausencia de especies acuáticas, se determina en primera medida el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD}

$$PS_{OD} = \frac{Ox \cdot 100}{C_p} \quad [Ec. 1]$$

Donde,

O_x = Oxígeno disuelto medido (mg/L) que está asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

C_p = Concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L) u oxígeno de saturación.

Nota: Para calcular la concentración de equilibrio de oxígeno, se hace a partir de la siguiente ecuación (Centro de investigaciones en Hidroinformática, 2007):

$$\ln C^* = -139.3441 + (157570.1/TE) - (66423080/TE^2) + (12438000000/TE^3) - (862194900000/TE^4)$$

Dónde,

TE= Temperatura (°K)

El porcentaje de saturación de oxígeno revela los niveles de oxígeno disuelto que requieren los organismos acuáticos para su desarrollo, este parámetro se determina mediante la relación de la temperatura y la presión del aire de una zona, por lo tanto:

Tabla 13. *Relación de la calidad del agua con el porcentaje de saturación de oxígeno*

Nivel de DO	Porcentaje de saturación de DO	Consecuencias
Supersaturación	$\geq 101\%$	Sistemas en producción fotosintética
Excelente	90% - 100%	Porcentajes adecuados para el desarrollo de vida de especies acuáticas y otros organismos.
Adecuado	80% - 89%	Desaparición de organismos y especies sensibles.
Aceptable	60% - 79%	Muerte masiva de organismos aerobios
Pobre	< 60%	

Adaptada de: (Vernier, s.f.)

Una vez calculado dicho porcentaje se determina el valor de la variable de oxígeno disuelto (OD) dado por:

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 \cdot PS_{OD}) \quad [Ec. 2]$$

Cuando los porcentajes de oxígeno disuelto hallados es mayor al 100% se evalúa la variable con la formula

$$I_{OD} = 1 - (0,01 \cdot PS_{OD} - 1) \quad [Ec. 3]$$

- **Variable (subíndice) Sólidos Suspendidos totales**

Esta variable se determina a fin de determinar los cambios en las condiciones hidrológicas como vertimientos de carácter industrial, disposición de escombros, erosión de los cuerpos de agua evaluados, se determina mediante:

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST) \quad [Ec. 4]$$

Donde,

SST=sólidos suspendidos totales

Si $SST \leq 4,5$ Entonces $I_{SST} = 1$

Si $SST \geq 320$ Entonces $I_{SST} = 0$

- **Variable (subíndice) Demanda Química de oxígeno (DQO)**

Esta variable permite establecer la presencia de sustancias químicas con susceptibilidad a la oxidación a condiciones ácidas y a altas temperaturas como materia orgánica e inorgánica sea biodegradable o no (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011).

Las condiciones de esta variable determinan que al momento del análisis:

Si $DQO \leq 20$ Entonces $I_{DQO} = 0,91$

Si $20 < DQO \leq 25$ Entonces $I_{DQO} = 0,71$

Si $25 < DQO \leq 40$ Entonces $I_{DQO} = 0,51$

Si $40 < DQO \leq 80$ Entonces $I_{DQO} = 0,26$

Si $DQO > 80$ Entonces $I_{DQO} = 0,125$

- **Variable (subíndice) conductividad eléctrica (C.E)**

Esta variable está relacionada con el nivel de mineralización del cuerpo de agua, se determina mediante la suma de cationes y aniones presentes como se refleja en la fórmula

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log 10 C.E.)} \quad [Ec. 5]$$

Por lo que,

Si $I_{C.E.} < 0$ (negativo) Entonces $I_{C.E.} = 0$

- **Variable (subíndice) pH**

Con la medición y reporte de esta variable se determina la afectación de los vertimientos al afluente hídrico sobre la fauna y flora acuáticas, los resultados obtenidos de la medición establecen que:

Si $pH < 4$ Entonces $I_{pH} = 0,1$

Si $4 \leq pH \leq 7$ Entonces $I_{pH} = 0,02628419 \cdot e^{(pH-0,520025)}$ [Ec. 6]

Si $7 < pH \leq 8$ Entonces $I_{pH} = 1$

Si $8 < pH \leq 11$ Entonces $I_{pH} = 1 \cdot e^{[(pH-8)-0,5187742]}$ [Ec. 7]

Si $pH > 11$ Entonces $I_{pH} = 0,1$

- **Variable (subíndice) Nitrógeno Total/Fosforo Total (NP/PT)**

La medición de este parámetro permite determinar la degradación por intervención antrópica y la posibilidad de asimilación de carga orgánica relacionando el balance de nutrientes para producción acuícola. Los resultados de la medición de esta variable establecen que:

Si $15 \leq NT/PT \leq 20$ Entonces $I_{NT/PT} = 0,8$

Si $10 < NT/PT < 15$ Entonces $I_{NT/PT} = 0,6$

Si $5 < NT/PT \leq 10$ Entonces $I_{NT/PT} = 0,35$

Si $NT/PT \leq 5$ o $NT/PT > 20$ Entonces $I_{NT/PT} = 0,15$

El índice de calidad (ICA) se calcula por el conjunto de variables o subíndices disponibles (4.1.1 – 4.1.6.) cuya concentración se determina en los cuerpos de agua, para este caso la microcuenca del Río Botello, la fórmula de cálculo de este índice se determina mediante:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right)$$

Donde,

ICA_{njt} = Es el índice de calidad de una corriente superficial determinada en la estación de monitoreo de la calidad de agua j en tiempo t , evaluada con base en n variables (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011).

W_i = Ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i

I_{ikjt} = Valor calculado de la variable i en la estación de monitoreo j registrado en la medición realizada en el trimestre k del periodo de tiempo t (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011).

Los resultados obtenidos del cálculo de las variables se consignan en las tablas 14 a 16, respectivamente.

Tabla 14. Información año 2014

Pto. N°	Punto	PS _{OD}	I _{OD}	I _{SST}	I _{DQO}	I _{NT/PT}	I _{C.E.}	I _{pH}	ICA	Señal de alarma
1	Entrada PTARD	32	0,32	0,28	0,125	0,15	S.D.	1	IND	Ninguna
2	Salida PTARD	99	0,99	0,372	0,125	0,15	S.D.	1	IND	Ninguna
3	Vertimiento Cartagenita	110	0,9	0	0,125	0,15	S.D.	0,70	IND	Ninguna
4	Vertimiento Santa Marta	49	0,49	0,48	0,125	0,15	S.D.	1	IND	Ninguna

Autor

Fuente: (ANTEK, 2014)

Nota: La información incompleta de los subíndices impiden la evaluación del Índice de calidad (ICA) para este año y, por ende, no se puede estimar la señal de alarma.

Tabla 15. Información año 2015

Pto. N°	Punto	PS _{OD}	I _{OD}	I _{SST}	I _{DQO}	I _{NT/PT}	I _{C.E.}	I _{pH}	ICA	Señal de alarma
1	Salida PTAR	15	0,15	0,189	0,125	0,15	S.D.	1	IND	Ninguna
2	Cartagenita 1	6	0,06	0	0,125	0,15	S.D.	0,96	IND	Ninguna
3	Cartagenita 1	7	0,07	0	0,125	0,15	0	1	0,20	Rojo
4	Cartagenita 2	9	0,09	0,18	0,125	0,15	0	1	0,24	Rojo
5	Santa Martha	32	0,32	0,27	0,125	0,15	0	1	0,29	Naranja
6	Vertimiento Cartagenita 1	S.D.	S.D.	2,23	0,125	0,15	S.D.	1	IND	Ninguna
7	Vertimiento Cartagenita2	S.D.	S.D.	0	0,125	0,15	S.D.	1	IND	Ninguna

Autor

Fuente: (Análisis de aguas y suelos - ANASCOL, 2015)

Nota: La información incompleta de los subíndices impiden la evaluación del Índice de calidad (ICA) para cuatro puntos (1,2,6,7) de este año y, por ende, no se puede estimar la señal de alarma.

Tabla 16. Información año 2016

Pto. N°	Punto	PS _{OD}	I _{OD}	I _{SST}	I _{DQO}	I _{NT/PT}	I _{C.E.}	I _{pH}	ICA	Señal de alarma
1	Vertimiento Arboleda	53	0,53	0,936	0,125	0,15	0	0,98	0,42	Naranja
2	Vertimiento PTAR	45	0,45	0,42	0,125	0,6	0	1	0,42	Naranja
3	Vertimiento Cartagenita 1	89	0,89	0,765	0,125	0,6	0,045	1	0,56	Amarillo
4	Vertimiento Arboleda	41	0,41	0,15	0,125	0,15	0	1	0,29	Rojo
5	Vertimiento PTAR	99	0,99	0,921	0,125	0,6	0	1	0,59	Amarillo
6	Vertimiento Santa Martha	66	0,66	0,912	0,125	0,35	0	1	0,49	Naranja
7	Vertimiento Cartagenita1	66	0,66	0,882	0,125	0,8	0,096	1	0,73	Verde
8	Vertimiento Cartagenita 2	S.D.	S.D.	0,3345	0,125	0,15	0	1	IND	Ninguna

Autor

Fuente: (Análisis de Agua y Suelos de Colombia - ANASCOL, 2016)

Nota: La información incompleta de los subíndices impiden la evaluación del Índice de calidad (ICA) para el punto 8 de este año y, por ende, no se puede estimar la señal de alarma.

Una vez obtenidos los datos, se presentan en las figuras 10 a 11 el comportamiento de los índices para los años 2015 - 2016, dado que en el año 2014 los datos suministrados están incompletos no es posible determinar el comportamiento del índice, posteriormente en la figura 13 se presenta la comparación del comportamiento de los índices a lo largo de los tres (3) años de evaluación.

La evaluación de los índices se realiza bajo el método denominado Sistemas de indicadores hídricos (SIH por sus siglas) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. , 2014) basado en el método propuesto por la National Sanitation Foundation (NSF por sus siglas en inglés) con el cual se logró identificar sobre qué puntos de monitoreo y dependiendo de sus objetivos la microcuenca cuenta con una buena

calidad de agua y una vez ponderados dichos resultados, establecer la calidad anual de los años de evaluación identificados (2014, 2015 y 2016).

Con base en dichas premisas, se establece que para el año 2014, no fue posible la estimación y evaluación del índice de calidad de un modo general que permitiera establecer una señal de alerta y por ende, una calificación de su calidad, se puede evidenciar por los subíndices y datos entregados por la Empresa Aguas de Facatativá, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios SAS ESP, medidos de manera individual que el agua para uso de vertimiento e interés sanitario según artículos 72 y 74 del decreto 1594 de 1984 no cumple con los requerimientos dictados por la norma a diferencia del índice de pH y temperatura los cuales se encuentran dentro del rango establecido (5. Normatividad aplicable a la Evaluación, pág. 78), de igual manera se establece que no es apta para consumo humano dados los resultados arrojados por el laboratorio encargado del análisis de las muestras.

En la figura 10, se aprecia la variación del índice de calidad evaluado (ICA) de un modo generalizado, a medida que el índice aumenta en su valor, se aprecian las mejorías en las condiciones del agua para el caso del punto aguas abajo Santa Marta, sin embargo, se establece que su calidad en general es Mala con una señal de alerta color naranja, para los puntos Cartagenita 1 y Cartagenita 2 ubicados aguas abajo y cercanos a la cabecera municipal que continúan con el transporte de las aguas vertidas por la planta de Tratamiento de aguas residuales y el frigorífico. Se puede observar que la señal de alerta color rojo da paso a una calificación de calidad Muy Mala, lo que indica que para los usos requeridos de captación según el decreto 1594 de 1984, artículos 38 y 39 de los criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico y que para su potabilización se requiere un tratamiento convencional, no cumple con los parámetros exigidos.

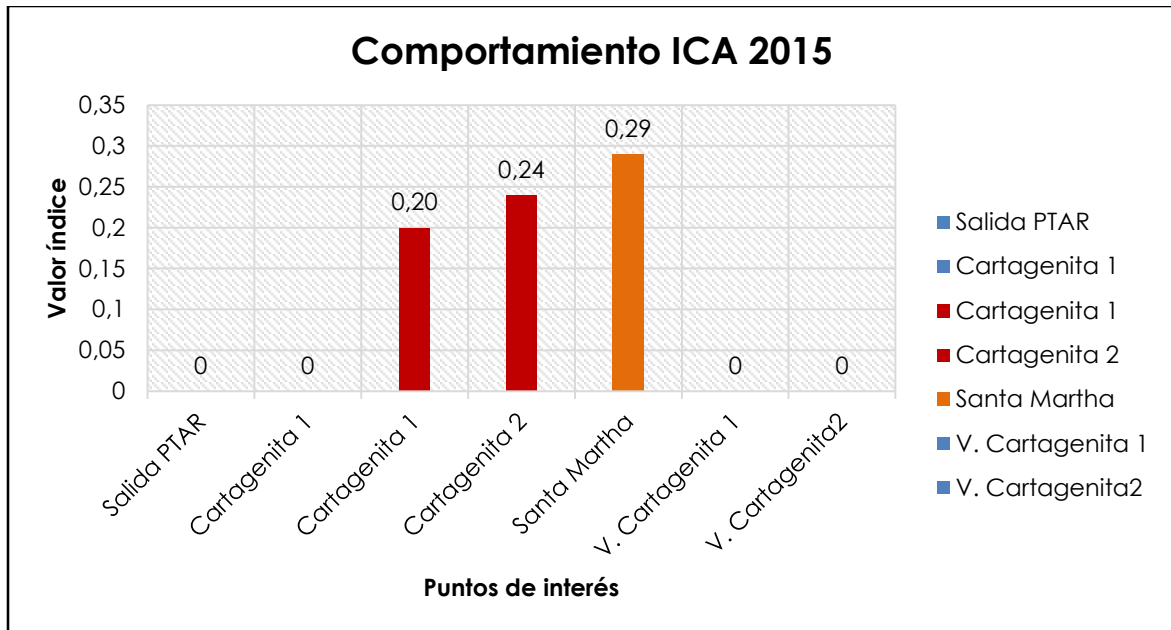


Figura 9. Comportamiento índice ICA año 2015
Autor

El comportamiento del índice para el año 2016, mostrado en la figura 11, ejemplifica un mejor comportamiento en cuanto a la evolución de la calificación de calidad en comparación con el año inmediatamente anterior, especialmente en el punto Cartagenita 1 ubicado aguas arriba, para el punto de vertimiento Santa Marta aguas abajo se evidencia un aumento en su calidad sin ser suficiente para lograr una buena calidad que cumpla con los parámetros dictados por la normatividad, según el decreto 1594 de 1984, artículos 38 y 39 de los criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico y que para su potabilización se requiere un tratamiento convencional.

Con los resultados de análisis de laboratorio de los parámetros más completo de los años en evaluación se logró estimar que la calificación de calidad para este año en general sigue siendo mala, a pesar de que se reportan índices de buena calidad con una señal de alerta color verde para el punto de Vertimiento Cartagenita 1 ubicado aguas abajo, los demás puntos como vertimiento Arboleda, Vertimiento PTAR ubicados aguas arriba y vertimiento Arboleda y Santa Marta aguas abajo arrojaron resultados de calidad Mala con señal de alerta naranja debido a que los puntos establecidos para este tramo de la microcuenca tienen un uso de captación y vertimiento en el mismo cuerpo de agua para aguas abajo sumado a la condición de captación del recurso para consumo humano en puntos aguas arriba de la PTAR del municipio, con base en esta premisa se analizaron estos puntos de

interés bajo la resolución 0631 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, artículos 3 y 8 de los vertimientos y captación de aguas del mismo cuerpo hídrico y de vertimientos de aguas residuales domésticas y de prestadores públicos de alcantarillado a los cuerpos hídricos, dados que los puntos de interés aguas abajo se encuentran en cercanías de la PTAR del municipio y cabecera municipal, y para aguas arriba bajo el decreto 1594 de 1984 artículos 38 y 39.

La calidad del agua para los puntos identificados en calificación de calidad media viene en mejora dado el inicio de la instalación de sistemas sépticos por ser puntos de mayor descarga por incremento poblacional y otras actividades económicas, estos sistemas se integran de trampas de grasa, cajas de distribución y rejillas basados en parámetros de conducción del agua residual de las viviendas a la PTAR, Tratamiento del agua residual ya que no poseen ningún tipo de tratamiento previo a su vertimiento y conducción desde la PTAR hasta el punto de vertimiento, para los demás puntos se están implementando los puntos de un modo escalonado programando su cubrimiento del 100% al año 2021 mediante el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos para el Área Rural de Facatativá de la Alcaldía Municipal y la Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente (Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente, 2015). En el Anexo B, se presentan imágenes tomadas en la fase de reconocimiento donde se ven de forma general de los sistemas.

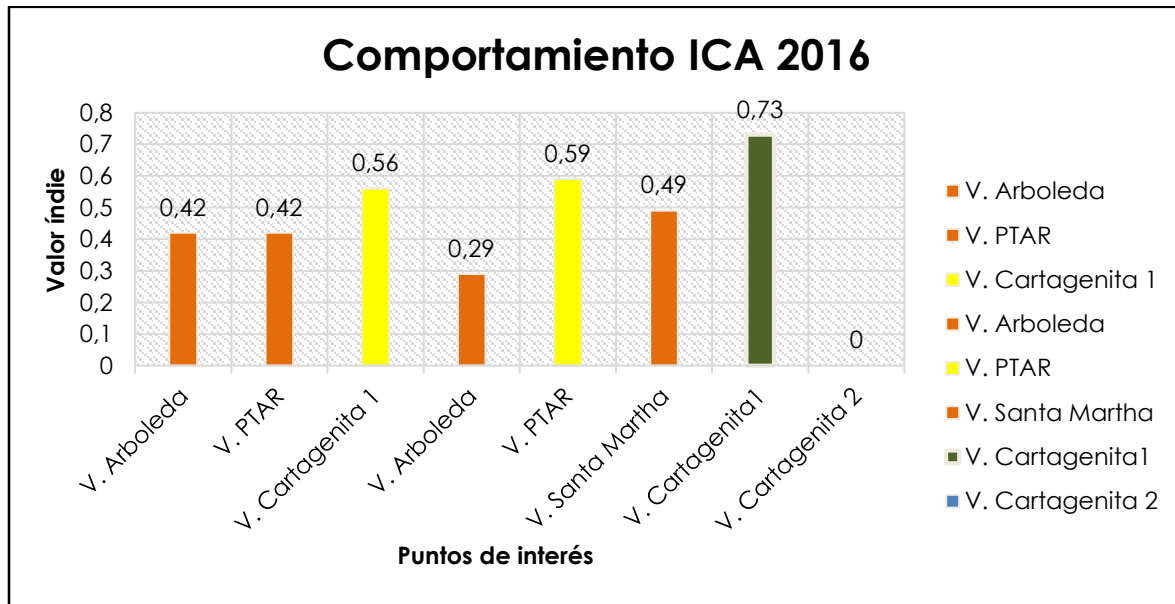


Figura 10. Comportamiento índice ICA año 2016
Autor

En resumen, como se indica en la figura 12 la comparación de los índices de calidad obtenidos en la evaluación y a pesar de que el año con los índices de calidad más bajos se registraron en el año 2015 con una ponderación de 0,24 correspondiente a una señal de alerta de color rojo y una calificación de calidad Muy Mala y dentro de una mirada global que permite establecer la evaluación del índice de calidad ICA con sus diversos subíndices y de las actividades de mejora sobre el manejo de vertimientos de aguas residuales a lo largo de la microcuenca como se puede ver en el comportamiento para el año 2016 con una ponderación de 0,5 correspondiente a una señal de alerta naranja y una calificación de calidad Mala, se puede inferir que el agua no es óptima para un objetivo de captación para consumo humano ni de desarrollo de actividades domésticas o pecuarias (bebederos bovinos) comunes en el municipio y su entorno rural (laderas del Río) desde su nacimiento hasta su desembocadura pasando por la cabecera municipal.

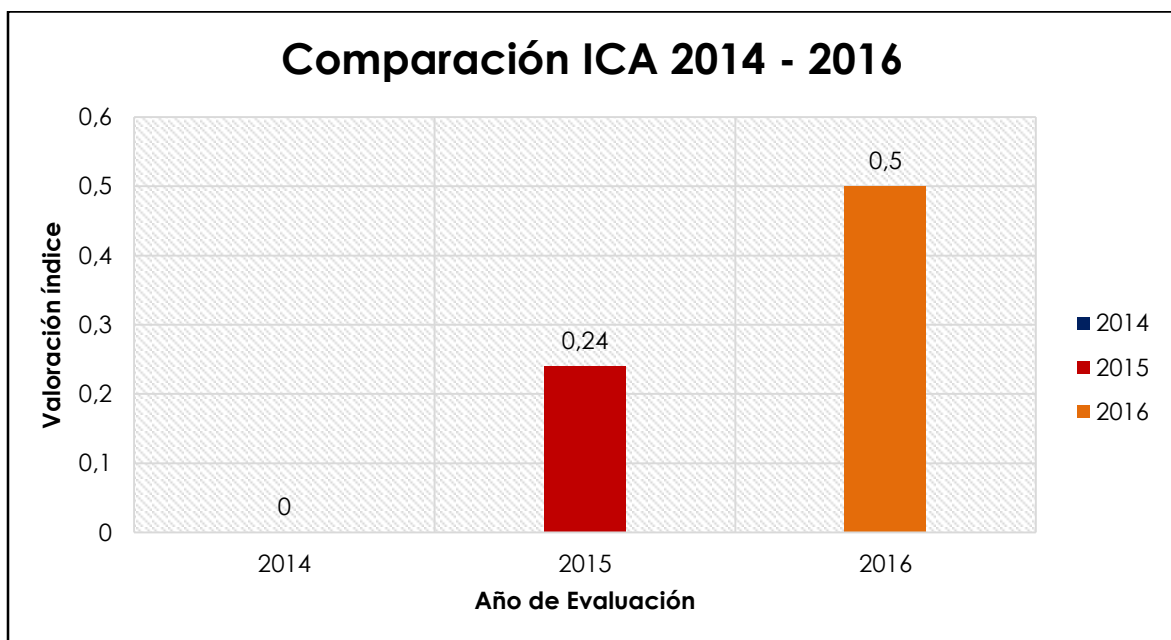


Figura 11. Comparación comportamiento ICA 2014 - 2016
Autor

Por el contrario, estos índices de baja calidad que se pudieron observar a lo largo de la microcuenca del Río Botello tanto aguas arriba como aguas abajo favorecen la muerte de especies acuáticas susceptibles a concentraciones elevadas de oxígeno disuelto en el agua (peces, zooplancton, entre otros), así como la afección al recurso suelo por

vertimiento directo mediante actividades de riego y corrosión de tuberías transportadoras de agua que pueden influir en la salud de la población y los animales.

4.2. Cálculo del ICO's

Dentro de los factores determinantes de la contaminación del agua se encuentran:

- ✓ **ICOMI** o *parámetro de mineralización*: Este factor integra las mediciones de conductividad la cual expresa el contenido de sólidos disueltos en la corriente del cuerpo hídrico, dureza basada en la concentración de cationes de magnesio y calcio, y la alcalinidad expresada mediante el contenido de aniones de carbono. Este índice se define en un rango de 0 que indica baja contaminación a 1 que indica alta contaminación por mineralización (Universidad de Pamplona, s.f.).
- ✓ **ICOMO** o *índice de contaminación por materia orgánica*: Este factor se integra por las mediciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno. Este índice está definido en un rango de 0 a 1 que indica la relación del aumento de contaminación en un cuerpo hídrico (Universidad de Pamplona, s.f.)
- ✓ **ICOSUS** o *parámetro de contaminación por sólidos suspendidos*: Se integra del cálculo de los sólidos suspendidos o partículas de carácter orgánico e inorgánico que se mantienen suspendidos en concentraciones acuosas. Este índice se define mediante un rango de 0 a 1 que permite determinar la contaminación por sólidos suspendidos (Cañas, (s,f)) de la siguiente manera:

Sólidos suspendidos > a 340 mg/L tiene un ICOSUS = 1

Sólidos suspendidos < 10 mg/L tiene un ICOSUS = 0

- ✓ **ICOTRO** o *índice de contaminación trófica*: Se integra de la concentración de fósforo total, así como el nitrógeno y el fósforo en exceso de agua provoca eutrofización que puede afectar la vida acuática. Su determinación por análisis químico establece la determinación de contaminación (Cañas, Juan., s.f.) de la siguiente manera:

Oligotrofia: < 0.01
Mesotrofia: 0.01 – 0.02
Eutrofia: 0.02 – 1.00
Hipereutrofia: > 1.00

La calificación de la calidad del agua según los resultados arrojados de los índices de contaminación se establece en la tabla 17 según corresponde.

Tabla 17. Calificación de la calidad del agua según los valores que tomen los indicadores de contaminación

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0.8 – 1.0	Muy Alto	Rojo
0.6 – 0.8	Alto	Naranja
0.4 – 0.6	Medio	Amarillo
0.2 – 0.4	Bajo	Verde
0.0 – 0.2	Ninguno	Azul

Adaptado de: (Fernandez, Ramos, & Solano, 2005)

4.3. Determinación de índices de contaminación (ICO)

Se calcula cada índice según las ecuaciones de referencia, para la evaluación de estos índices sobre la microcuenca del Río Botello se determinarán por punto incluidos en los tres (3) años de información recolectada mediante la herramienta ICATest V1.0. Junto con la presentación de comportamiento mediante gráficas arrojadas por el programa, para el hallazgo de los índices se tienen en cuenta las valoraciones y particularidades de cada uno, se presentan adicionalmente las fórmulas utilizadas para el cálculo de estos.

- **Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)**

Este índice permite identificar la cantidad de sólidos disueltos en un cuerpo de agua, este se define en un rango numérico asignado de 0 a 1 en el cual los valores de cero o cercanos a cero indican baja contaminación por mineralización y los valores de uno o cercanos a este indican alta contaminación por mineralización, se determina mediante la fórmula:

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

Donde,

$$I_{Conductividad} = \text{Log}_{10} I_{Conductividad} = 3.26 + 1.34 \log_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$I_{Conductividad} = \log_{10} \text{Conductividad}$$

Si $\text{Conductividad} > 270$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Entonces $I_{Conductividad} = 1$

$$I_{Dureza} = \log_{10} I_{Dureza} = -9.09 + 4.40 \log_{10} \text{Dureza } (\text{mg}/\text{L})$$

$$I_{Dureza} = \log_{10} \text{Dureza}$$

Si $\text{Dureza} > 100$ mg/L Entonces $I_{Dureza} = 1$

Si $\text{Dureza} < 30$ mg/L Entonces $I_{Dureza} = 0$

$$I_{Alcalinidad} = \log_{10} I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005 \text{Alcalinidad } (\text{mg}/\text{L})$$

Si $\text{Alcalinidad} > 250$ mg/L Entonces $I_{Alcalinidad} = 1$

Si $\text{Alcalinidad} < 50$ mg/L Entonces $I_{Alcalinidad} = 0$

• Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Mediante el cálculo de este índice se podrá reflejar la carga de contaminación orgánica que contiene el afluente y su capacidad de respuesta frente a este tipo de contaminación (Cañas, Juan., s.f.). El índice se obtiene mediante la fórmula:

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{COT} + I_{\% \text{ OXIGENO}})$$

Donde,

I_{DBO} = Su valor se obtiene mediante:

Si $DBO < 30$ mg/L Entonces $I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \log_{10} DBO$

Si $DBO > 30$ mg/L Entonces $I_{DBO} = 1$

Si $DBO > 2$ mg/L Entonces $I_{DBO} = 0$

I_{COT} = Su valor se obtiene mediante:

Si *coliformes totales* < 20.000 NPM/100ml Entonces $I_{COT} = -1.44 + 0.56_{\log_{10}COT}$

Si *coliformes totales* > 20.000 NPM/100ml Entonces $I_{COT} = 1$

Si *coliformes totales* < 500 NPM/100ml Entonces $I_{COT} = 0$

$I_{\% \text{ OXIGENO}}$ = Su valor se obtiene mediante:

Si % *oxígeno* < 100% Entonces,

$$I_{\% \text{ OXIGENO}} = 1 - 0.01 * \% \text{ saturación de oxígeno}$$

Si % *oxígeno* > 100% Entonces $I_{\% \text{ OXIGENO}} = 0$

- **Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)**

Esta variable destaca los niveles de sólidos de alta densidad suspendidos en los cuerpos hídricos, se determina mediante los parámetros:

Si *SST* < 340 mg/L Entonces,

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 * SST$$

Si *SST* > 340 mg/L Entonces $ICOSUS = 1$

Si *SST* < 10 mg/L Entonces $ICOSUS = 0$

- **Índice de contaminación trófica (ICOTRO)**

Este índice se calcula partiendo de la concentración de fósforo total medido en mg/L por análisis químico, a mayor concentración se presenta eutrofización en los cuerpos hídricos.

Se determina su concentración mediante los parámetros:

Oligotrofia: < 0.01

Mesotrofia: 0.01 – 0.02

Eutrofia: 0.02 – 1.00

Hipereutrofia: > 1.00

Con el desarrollo de actividades de desarrollo económico y social en el municipio de Facatativá se generan a diario vertimientos que afectan las condiciones hidrológicas de los cuerpos hídricos presentes, en las tablas 18 a 20 se presentan los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los puntos de muestreo ubicados a lo largo del tramo de la microcuenca del Río Botello requeridos para el cálculo de los ICO para los años 2014, 2015 y 2016. Estos datos corresponden a los ingresados al programa denominado ICATest V.1.0. desarrollado por Biólogos en el año 2001, el cual mediante el ingreso de variables para identificación de cada subíndice que compone los ICO arroja una valoración, calificación de calidad y señal de alerta requeridos dependiendo del número de variables con las que se cuente, arrojando gráficas por cada parámetro perteneciente a cada año evaluado como se puede observar los Anexos C A E (Anexo C: Gráficas arrojadas por ICATest, evaluación ICOMO e ICOSUS por punto año 2014, pág. 108 - Anexo D: Gráficas arrojadas por ICATest, evaluación ICOMI, ICOMO e ICOSUS por punto año 2015, pág. 111 - Anexo E: Gráficas arrojadas por ICATest, evaluación ICOMI, ICOMO e ICOSUS por punto año 2016, pág. 117).

Tabla 18. *Parámetros de contaminación por punto para el año 2014*

Punto	Tipo de agua	Caudal (L/s)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Dureza (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	Sólidos Sedimentables (mg/L)	pH (Unidades)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
Aguas Arriba															
Entrada PTARD	Residual Domestica	352,04	0,00	11000000	3900000	0,00	0,00	0,00	9,41	836,00	247,00	4,3	7,79	19,8	0,71
Total, anual		352,04	0,00	11000000	3900000	0,00	0,00	0,00	9,41	836,00	247,00	4,3	7,79	19,8	0,71
Aguas Abajo															
Salida PTARD	Residual Domestica	319,21	0,00	4100000	2300000	0,00	0,00	0,00	8,93	268,00	216,00	3,2	7,26	18,8	2,21
Vertimiento Cartagenita	Residual Industrial	17,490	0,00	140000000	11000000	0,00	0,00	0,00	14	613,00	333,00	5,5	8,17	19,2	2,44
Vertimiento Santa Marta	Residual Industrial	1,143	0,00	11000000	1200000	0,00	0,00	0,00	11,9	229,00	180,00	3,3	7,57	14,5	1,14
Total, Anual		112,61	0,00	51700000	4833333,33	0,00	0,00	0,00	11,61	370,00	243,00	4,00	7,67	17,50	1,93

Adaptada de: (ANTEK, 2014)

Nota: Recuperado de Caracterización fisicoquímica del agua residual doméstica e industrial generada en el municipio de Facatativá. Copyright 2014 por Antek. Reproducido con permiso.

Tabla 19. *Parámetros de contaminación por punto para el año 2015*

Punto	Tipo de agua	Caudal (L/s)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Dureza (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	Solidos Sedimentables (mg/L)	pH (Unidades)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
Aguas Arriba															
Cartagenita 1	Superficial	66,31	0,00	>160000	>160000	0,00	0,00	0,00	3,16	420,00	277,00	1,5	7,08	23,3	0,33
Salida PTARD	Superficial	50,54	0,00	>160000	>160000	0,00	0,00	0,00	3,8	572,00	350,00	1,0	6,93	19,0	0,15
Total, Anual		58,43	0,00	160000	160000	0,00	0,00	0,00	3,48	496,00	313,50	1,25	7,01	21,15	0,24
Aguas Abajo															
2015 Cartagenita 2	Superficial	115,88	1536	>160000	>160000	0,00	0,00	0,00	2,98	724,00	393,00	5	7,25	25,3	0,15
Cartagenita 1	Superficial	34,77	1423	>160000	>160000	0,00	0,00	0,00	2,33	495,00	280,00	1,0	7,39	23,2	0,20
Santa Marta	Superficial	198,06	1183	>160000	>160000	0,00	0,00	0,00	4,23	418,00	250,00	1,5	7,01	17,7	0,73
Vertimiento Cartagenita 1	Residual Industrial	15,662	0,00	>160000	>160000	0,00	0,00	0,00	2,43	556,00	223,00	3,3	7,41	18,2	0,00
Vertimiento Cartagenita 2	Residual Industrial	21,49	0,00	>160000	>160000	0,00	0,00	0,00	2,88	614,00	357,00	4,6	7,39	20,9	0,00
Total, Anual		77,17	828,40	160000	160000	0,00	0,00	0,00	2,97	561,40	300,60	3,08	7,29	21,06	0,22

Adaptada de: (Análisis de aguas y suelos - ANASCOL, 2015)

Nota: Recuperado de Análisis fisicoquímico de agua cruda superficial, caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de aguas superficiales receptoras de vertimientos y caracterización fisicoquímica de aguas residuales. Copyright 2015 por Anascol S.A.S. Reproducido con permiso.

Tabla 20. *Parámetros de contaminación por punto para el año 2016*

Punto	Tipo de agua	Caudal (L/s)	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Dureza (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Sólidos Sedimentables (mg/L)	pH (Unidades)	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	
Aguas Arriba																
Vertimiento Arboleda	Superficial	0,00	723	21000	21000	0,00	0,00	0,00	3,57	<5	28,00	8,5	6,97	17,6	1,2	
Vertimiento PTAR	Superficial	3106,29	317	>160000	43000	0,00	0,00	0,00	1,73	78,00	20,00	2,0	7,71	19,6	1,0	
Vertimiento Cartagenita 1	Superficial	3379,2	265,6	>160000	>160000	0,00	0,00	0,00	3,33	15,00	85,00	14,0	7,3	17,9	2,0	
Total, anual		2161,83	435,20	113666,67	74666,67	0,00	0,00	0,00	2,88	31,00	44,33	8,17	7,33	18,37	1,40	
Aguas Abajo																
2016	Vertimiento Arboleda	Superficial	115,88	967,6	>16000000	16000000	0,00	0,00	0,00	9,08	318,00	290,00	10	7,49	20,8	0,9
	Vertimiento PTAR	Superficial	34,77	293,3	>160000	>160000	0,00	0,00	0,00	2,33	76,00	33,00	<0,1	7,48	19,5	2,2
	Vertimiento Santa Marta	Superficial	198,06	728	>1600000	1600000	0,00	0,00	0,00	2,05	69,00	36,00	3,0	7,32	17,9	1,5
	Vertimiento Cartagenita 2	Superficial	15,662	257	>1600000	1600000	0,00	0,00	0,00	1,42	74,00	46,00	3,0	7,23	17,7	1,5
	Vertimiento Cartagenita 1	Residual Industrial	21,49	280	0,00	0,00	65,8	287	5,44	7,32	0,00	228,5	2,25	7,35	19,2	0,00
Total, Anual		77,17	505,18	3872000	3872000	13,16	57,40	1,09	4,44	107,40	126,70	3,65	7,37	19,02	1,22	

Adaptada de: (Análisis de Agua y Suelos de Colombia - ANASCOL, 2016)

Nota: Recuperado de Análisis fisicoquímico de agua cruda superficial, caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de aguas superficiales receptoras de vertimientos y caracterización fisicoquímica de aguas residuales. Copyright 2016 por Anascol S.A.S. Reproducido con permiso.

Con dicho programa, se identificaron los subíndices ICOMI, ICOMO e ICOSUS, con parámetros medidos que hacen parte integral de las aguas residuales o de vertimiento ya sean domésticas, agrícolas, pecuarias, residuos sólidos e industriales que dejan espumas, grasas e iridiscencias, y fue posible determinar los criterios de contaminación anuales consignados para cada año y punto de estudio.

Tabla 21. Información año 2014

Pto. N°	Punto	I _{COMI}	I _{COMO}	I _{CO} SUS	I _{CO} TRO
1	Entrada PTARD	S.D.	0.998	0.721	9,41
2	Salida PTARD	S.D.	0.993	0.628	8,93
3	Vertimiento Cartagenita	S.D.	0.992	0.979	14
4	Vertimiento Santa Marta	S.D.	0.996	0.52	11,9
Grado		**	Muy Alto	Alto	Hipereutrofia
Rango		**	0.8 – 1.0	0.6 – 0.8	>1.00
Color		**	Rojo	Naranja	**

Autor

Fuente: (ANTEK, 2014)

Para el año 2014, como se observa en la Tabla 21 no fue posible identificar el subíndice ICOMI debido a la falta de información de resultados de medición de conductividad eléctrica requerida para el cálculo del mismo. Por otro lado, se logró identificar subíndices como ICOMO en un rango de 0.8 – 1.0 con una señal de alerta de color rojo lo que da lugar a una calificación de calidad Muy Alto que confiere una mala calidad debido a la contaminación del recurso hídrico es evidente en todos los puntos de monitoreo tanto aguas arriba como aguas abajo e ICOSUS con un rango de 0.6 – 0.8 con una señal de alerta naranja y una calificación de calidad Alta, continuando con la línea de mala calidad del agua en menores proporciones, especialmente en el punto ubicado aguas abajo Vertimiento Cartagenita seguido de los puntos Entrada y salida PTAR y por último el punto de vertimiento Santa Marta. El índice denominado ICOTRO al evaluarse mediante la estimación de fosforo total medido en los diversos puntos de monitoreo arroja un rango >1.00 indicando Hipereutrofia o contaminación Alta como se observa en la figura 13, de un modo especial en el punto aguas abajo denominado vertimiento Cartagenita, seguido del vertimiento Santa Marta los cuales colindan con la PTAR del municipio, con ello se puede

inferir que la planta no trabaja de un modo eficiente en sus actividades de remoción, respaldando esta información se encuentra el punto de salida de la planta de tratamiento, es decir que su remoción de elementos contaminantes no se realiza según el decreto 1594 de 1984 artículo 72, el cual dicta que debe ser $\geq 80\%$.

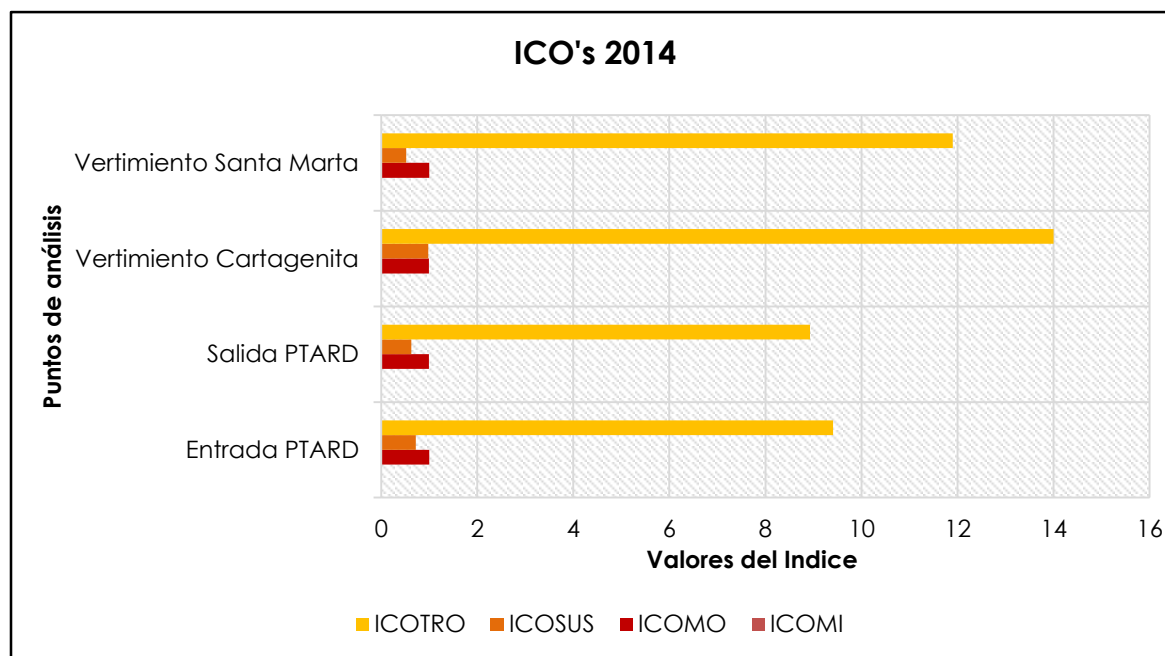


Figura 12. Comportamiento índices año 2014
Autor

Para el año 2015 los resultados arrojados por cada punto de muestreo se encuentran en la Tabla 22, para estos el subíndice ICOMI hallado en los puntos con información del parámetro de conductividad eléctrica arrojan un resultado general en un rango de 0.8 – 1.0 con una señal de alerta de color rojo lo que da lugar a una calificación de calidad Muy Alta, principalmente en el punto aguas abajo denominado Santa Marta y Cartagenita 2, para el subíndice ICOMO se determinó que tiene un rango igualmente Alto con un rango de 0.8 – 1.0 y una señal de alerta de color rojo.

Tabla 22. Información año 2015

Pto. N°	Punto	I _{ICOMI}	I _{ICOMO}	I _{ICOSUS}	I _{ICOTRO}
1	Salida PTAR	S.D.	0.999	0.811	3,16
2	Cartagenita 1	S.D.	0.999	1	3,8
3	Cartagenita 1	0.333	0.999	1	2,98
4	Cartagenita 2	1	0.999	0.82	2,33

5	Santa Martha	1	0.998	0.73	4,23
6	Vertimiento Cartagenita 1	S.D.	1,5	0.649	2,43
7	Vertimiento Cartagenita2	S.D.	1	1	2,88
Grado		Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Hipereutrofia
Rango		0.8 – 1.0	0.8 – 1.0	0.8 – 1.0	>1.00
Color		Rojo	Rojo	Rojo	**

Autor

Fuente: (Análisis de aguas y suelos - ANASCOL, 2015)

De igual forma, la figura 14 muestra el comportamiento de los subíndices de contaminación a lo largo de la microcuenca, donde en el punto de vertimiento los índices más altos fueron: vertimiento Cartagenita 1 aguas abajo seguido por Salida PTAR, los demás puntos poseen resultados más bajos, pero de igual representación de calidad. El subíndice ICOSUS arroja los mismos resultados en rango y señal de alerta que los subíndices anteriores ICOMO e ICOMI confirmando que la contaminación del recurso hídrico es muy alta tanto para aguas arriba como para aguas abajo con altos niveles en puntos como Cartagenita 1, vertimiento Cartagenita 2, así como los niveles más bajos e igual de representativos para Santa Marta y vertimiento Cartagenita 1. Por lo que la falta de tratamiento previo al vertimiento es un tema de vital importancia.

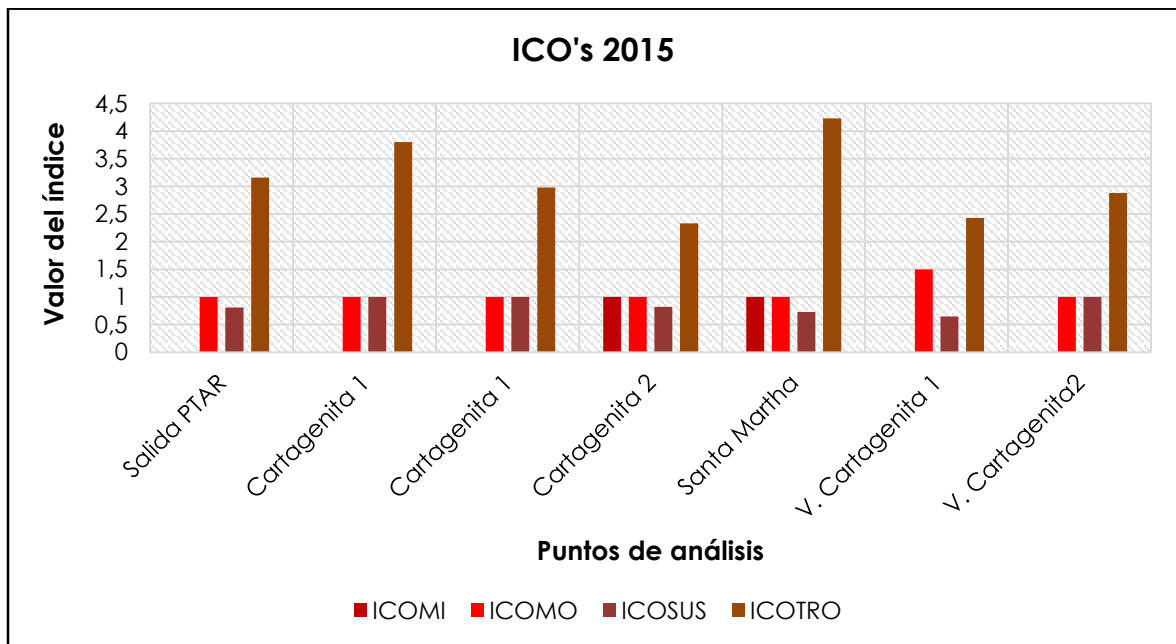


Figura 13. Comportamiento índices año 2015

Autor

Finalmente para el año 2016, la Tabla 23 presenta los resultados de los indicadores de contaminación de cada punto evaluados evidenciando el comportamiento de los subíndices evaluados para el año 2016, el subíndice ICOMI arrojó como resultado un alto índice de contaminación con una señal de alerta de color rojo en un rango de 0.8 – 1.0, el punto con el valor más bajo es el punto vertimiento Cartagenita 2 ubicado aguas abajo respecto a los otros siete (7) puntos, el subíndice ICOMO presenta valores consistentes aún dentro de los puntos vertimiento Cartagenita 1 y vertimiento Arboleda aguas arriba que demuestran que el vertimiento de aguas residuales de índole doméstico y pecuario, así como otro material de escorrentía al cuerpo hídrico del Río Botello afecta en grandes proporciones su capacidad de desarrollo de vida macroscópica.

Tabla 23. Información año 2016

Pto. N°	Punto	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOTRO
1	Vertimiento Arboleda	1	0.809	0.064	3,57
2	Vertimiento PTAR	1	0.997	0.04	1,73
3	Vertimiento Cartagenita 1	0.974	0.918	0.235	3,33
4	Vertimiento Arboleda	1	0.997	0.85	9,08
5	Vertimiento PTAR	1	0.993	0.079	2,33
6	Vertimiento Santa Martha	1	0.995	0.088	2,05
7	Vertimiento Cartagenita 1	0.932	0.995	0.118	1,42
8	Vertimiento Cartagenita 2	0.54	S.D.	0.666	7,32
Grado		Muy Alto	Muy Alto	Bajo	Hipereutrofia
Rango		0.8 – 1.0	0.8 – 1.0	0.2 – 0.4	>1.00
Color		Rojo	Rojo	Verde	**

Autor

Fuente: (Análisis de Agua y Suelos de Colombia - ANASCOL, 2016)

En función de estos resultados de la figura 15, se puede observar que el subíndice ICOSUS para este año presenta valores pequeños que resultan en un bajo porcentaje de contaminación para los puntos vertimiento PTAR tanto aguas arriba como aguas abajo, seguido del vertimiento Arboleda aguas arriba y vertimiento Santa Marta y Cartagenita 1

aguas abajo con valores de índice cercanos a 0.0 y 0.4 lo que determina su rango de calificación de 0.2 – 0.4 con una señal de alerta de color verde, por último el subíndice ICOTRO para el año en evaluación sigue mostrando índices de contaminación por presencia y concentración de fósforo (>1) o Hipereutrofia de un modo marcado en el punto denominado vertimiento Arboleda aguas abajo, seguido del punto de interés vertimiento Cartagenita 2 y vertimiento arboleda aguas arriba, posteriormente se ubican puntos como vertimiento PTAR, Santa Marta en los que las concentraciones de fósforo son en menor cantidad pero significantes en el proceso de eutrofización de aguas.

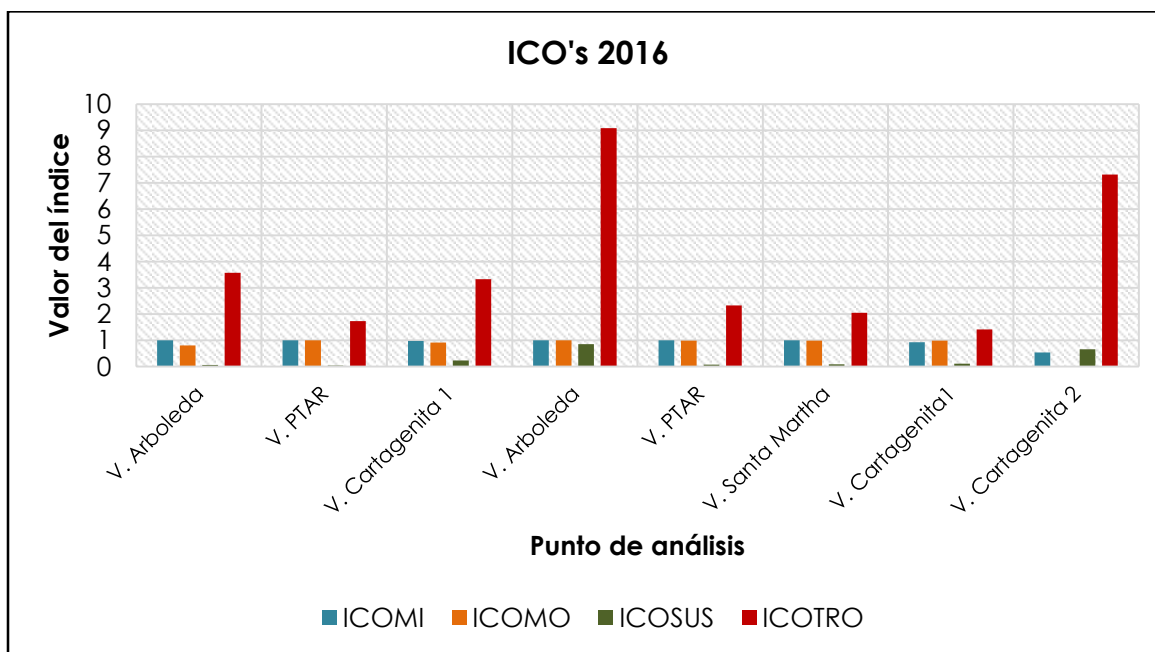


Figura 14. Comportamiento índices año 2016
Autor

Una vez calculado el índice, se presentan los resultados adquiridos por año en la tabla 24 junto al estado de calidad hallado según la tabla de criterios correspondientemente:

Tabla 24. Resultados ICO anual

Índice	Año			Calificación Calidad	Señal de Alerta
	2014	2015	2016		
I _{COMI}	S.D.	1	0,930	0.8 – 1.0	Rojo
I _{COMO}	0,994	1	0,838	0.8 – 1.0	Rojo
I _{cosus}	0,712	0,858	0,267	0.6 – 0.8	Naranja
I _{cotro}	11,6	3,11	3,85	>1.00	Hipereutrofia

Autor

En función de estos la figura 16 presenta la comparación del comportamiento de los índices a lo largo de los tres (3) años de evaluación.

Evidenciando que el comportamiento de los subíndices de contaminación se marcó en mayores concentraciones en el año 2016 por mineralización y en menor proporción por sólidos suspendidos, materia orgánica y concentración de fósforo, el año subsiguiente mostró concentraciones importantes de material mineralizante, materia orgánica, sólidos suspendidos pero menores concentraciones de fósforo a comparación de los años 2014 y 2016.

Para el año 2014 se evidencia la concentración más alta de concentración de fósforo y concentraciones en menor cantidad de sólidos suspendidos frente al 2015 pero aun mayor a las de 2016, así como la concentración de materia orgánica frente al mismo año, pero en menores cantidades que en el año 2015.

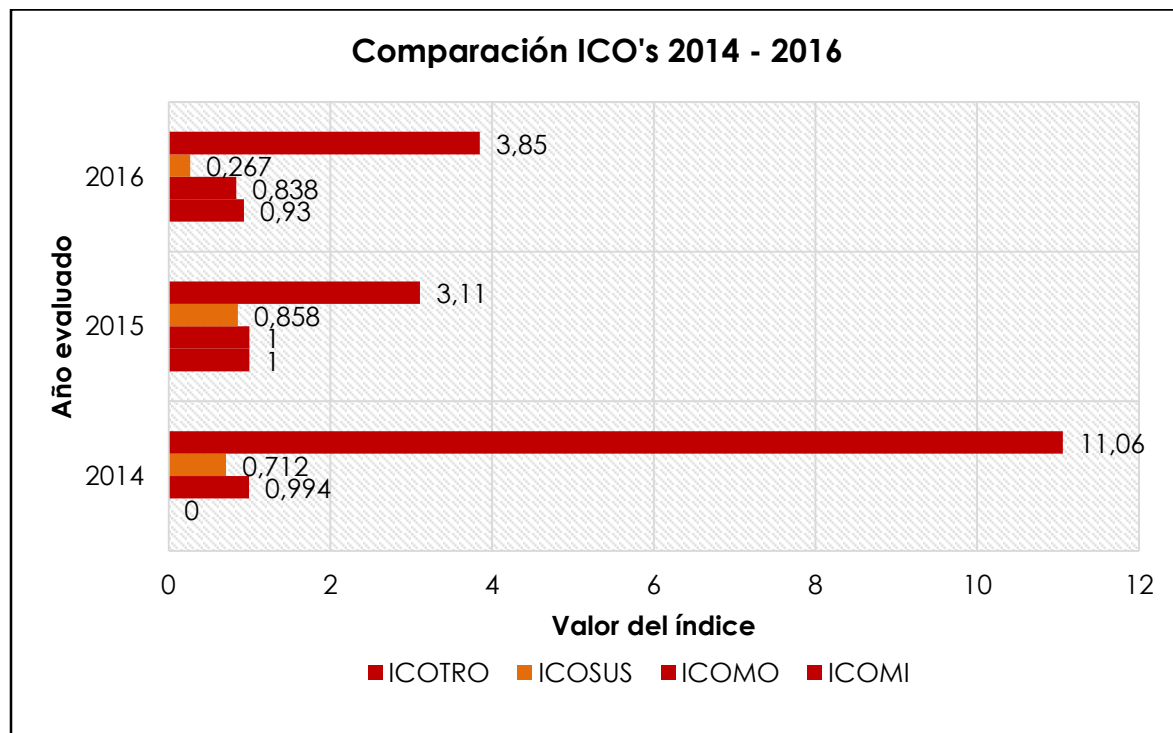


Figura 15. Comparación comportamiento índices 2014 - 2016
Autor

Los niveles de contaminación obtenidos son respaldados por el índice biológico BMWP – COL (Biological Monitoring Working Party score) con el cual se evalúa la calidad del agua dependiendo de las concentraciones de macroinvertebrados, según un estudio realizado

en el año 2015 por el laboratorio ANASCOL se determinó que la presencia de macroinvertebrados de clase *insecta*, orden *Díptera* (Perifiton) deja a lugar un resultado de altos y fuertes niveles de contaminación. Dada la poca cantidad de oxígeno disuelto se incurre a la baja diversidad de especies en el cuerpo hídrico del Río Botello mientras se crea un escenario para especies como *Navícula sp*, *Euglena sp*, *Oscillatoria sp*, *Nitzschia sp*, *Ulothrix sp* (Análisis de aguas y suelos - ANASCOL, 2015).

Así mismo, las altas concentraciones de fósforo derivado de fertilizantes en actividades agrícolas y compuestos mineralizantes establecen un escenario para el desarrollo de plantas macrófitas de división *Chlorophyta*, *bryophyta*, *Pteridophyta* y *Spermatophyta* (García, Fernández, & Cirujano, 2009), cuyas características no permiten que sean aprovechadas para alimento, lo que les permite liberar agentes concentradores de nitrógeno siendo causantes de problemas al entorno como la pérdida de biodiversidad, modificación de la calidad del agua al impedir el paso de la luz invadiendo territorio con lo que se modifica el hábitat original de ciertos organismos y se disminuyen las superficies libres del agua, alteran los ciclos de nutrientes y reducen en cierto modo el valor económico de los lugares en los que se desarrollan al aumentar los gastos de operación de sistemas de abastecimiento y la disminución de uso de aguas para otros fines debido a la descomposición de las macrófitas presentes.

5. Normatividad aplicable a la Evaluación

En cumplimiento de la normatividad Nacional de Aguas dictadas como un conjunto de leyes, decretos y resoluciones, se dispone a modo general lo siguiente:

Tabla 25. *Decretos en materia de agua*

Norma	Año	Artículo	Concepto
		72	Normas de vertimiento: Todo vertimiento de agua debe cumplir características específicas.
		74	De las concentraciones para el control de la carga de sustancias de interés sanitario.
Decreto 1594 ⁴	1984	38	De los criterios de calidad admisibles para uso del recurso de agua en consumo humano y doméstico, para la cual se requiere tratamiento convencional para su potabilización.
		39	De los criterios de calidad admisibles para uso del recurso de agua en consumo humano y doméstico, para la cual se requiere tratamiento de desinfección para su potabilización.
Decreto 3930 ⁵	2010	N/A	De los usos del agua y los residuos líquidos.

⁴ IDEAM. (26 de junio de 1984). *Decreto 1594 de 1984*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f

⁵ Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (25 de octubre de 2010). *Decreto 3930 de 2010*. Recuperado el 2 de septiembre de 2017, de Régimen Legal de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>

Decreto 2811 ⁶	1974	N/A	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 3100 ⁷	2003	N/A	(Derogado por el art. 28, Decreto Nacional 2667 de 2012)
Decreto 2667 ⁸	2012	N/A	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Autor			

Tabla 26. *Leyes en materia de agua*

Norma	Año	Artículo	Concepto
Ley 9 ⁹	1979	N/A	Medidas sanitarias y de control sanitario del uso del agua
Ley 99 ¹⁰	1993	Título I Numeral 5 Título I Numeral 8 Título I Numeral 11	De la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.
Ley 142 ¹¹	1994	N/A	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones

⁶ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de diciembre de 1974). *Decreto 2811 de 1974*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MADS-0026/MADS-0026.pdf>

⁷ Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (21 de diciembre de 2012). *Decreto 2667 de 2012*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042#0>

⁸ Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (21 de diciembre de 2012). *Decreto 2667 de 2012*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042#0>

⁹ Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (25 de enero de 1979). *Ley 9 de 1979*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>

¹⁰ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (22 de diciembre de 1993). *Ley 99 de 1993*. Recuperado el 14 de junio de 2017, de Corpoboyacá: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/Ley-99-1993.pdf>

¹¹ Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (11 de Julio de 1994). *Ley 142 de 1994*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>

Ley 373 ¹²	1997	N/A	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Documento CONPES 3177 ¹³	2002	N/A	Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales.
Autor			

Tabla 27. Otras disposiciones

Norma	Año	Artículo	Concepto
Documento CONPES 3177 ¹⁴	2002	N/A	Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales.
		3	Cumplimiento de la norma de vertimientos cuando la captación y descarga se realizan en el mismo cuerpo de agua.
Resolución 0631 ¹⁵	2015	8	De los parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de las aguas residuales domésticas y de las aguas residuales de los prestadores de servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.
Autor			

¹² Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (06 de junio de 1997). *Ley 373 de 1997*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf

¹³ Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (15 de Julio de 2002). *Documento CONPES 3177*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3177%20-%202002.pdf>

¹⁴ Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (15 de Julio de 2002). *Documento CONPES 3177*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3177%20-%202002.pdf>

¹⁵ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de marzo de 2015). *Resolución 0631 de 2015*. Recuperado el 14 de junio de 2017, de MINAMBIENTE: <http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/7bf35b9e-b9ac-45b3-a280-c7dec8b1499d/Resolucion+631-2015.pdf?MOD=AJPERES>

Con base en lo anterior, para el análisis del presente documento en temas de aplicabilidad por vertimientos y por objetivo de uso de agua para los años de evaluación, se centra en el aspecto de captación y vertimientos según las actividades económicas del municipio, así como los objetivos establecidos por año, como se establecen en las tablas 28 a 30.

Tabla 28. Aplicabilidad de la normatividad a la evaluación de la calidad del Río Botello aguas arriba y aguas abajo en el año 2014

Variable	Unidad	Resultado	Cumple		Resultado	Cumple		Decreto 1594 de 1984 Art. 72
			Si	No		Si	No	
Aguas Arriba			Aguas Abajo					
Coliformes totales	NPM/100 ml	11000000			51700000			N.R.
Coliformes fecales	NPM/100 ml	3900000			4833333,33			N.R.
Dureza	(mg CaCO3/L)	0,00			0,00			N.R.
Alcalinidad	(mg CaCO3/L)	0,00			0,00			N.R.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	836,00		x	370		x	≥80%
Sólidos sedimentables	mg/L	4,3			4,00			N.R.
Temperatura	°C	19,8	x		17,50	x		≤40
pH	Unidades	7,67	x		7,67	x		5 – 9
Conductividad eléctrica	(μS/cm)	11000000			0,00			N.R.
Fosforo total	mg/L	3900000			11,61			N.R.
Nitrógeno total	mg/L	0,00			47,03			N.R.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	9,41			619,33			N.R.
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	69,7		x	243		x	≥80%
Oxígeno Disuelto	mg/L	1230			1,93			N.R.

Adaptada de: (ANTEK, 2014)

Nota: Recuperado de Caracterización fisicoquímica del agua residual doméstica e industrial generada en el municipio de Facatativá. Copyright 2014 por Antek. Reproducido con permiso.

Para el año 2014 se tomaron los resultados obtenidos de la recolección de los datos arrojados para los parámetros de coliformes totales, coliformes fecales, dureza, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, temperatura, pH, fósforo total, nitrógeno total, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y conductividad eléctrica, facilitados por la Empresa Aguas de Facatativá, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios SAS ESP tanto para aguas arriba, como para aguas abajo, como se puede evidenciar en la Tabla 28, evaluando el cumplimiento de los mismos y los límites establecidos versus los resultados obtenidos por punto de muestreo para el año de evaluación. Para este año, se evalúa la norma 1594 de 1984, artículo 72 de la norma de vertimiento a un cuerpo de agua y de concentraciones de cargas de interés sanitario (IDEAM, 1984), teniendo en cuenta los objetivos del cuerpo hídrico para dicho año.

Se evidencia que, para este año de evaluación, la microcuenca del Río Botello cumple con requisitos como pH y temperatura al encontrarse dentro de los rangos sugeridos, sin embargo, incumple en parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), ya que la norma establece que la remoción en carga debe ser $\geq 80\%$ para usuarios nuevos (aplicable), por lo que dentro de los resultados obtenidos se estableció que la planta del municipio ejecutó remoción de apenas el 20% de la carga en los vertimientos realizados durante el año, por otro lado, se encontró que los Sólidos Suspendidos Totales (SST) también incumplen con lo establecido en la norma, debido a que al igual que el DBO_5 la remoción en carga debe ser $\geq 80\%$ para usuarios nuevos (aplicable), con lo que durante el análisis de dichos parámetros la planta del municipio ejecutó remoción de apenas el 20% de la carga incumpliendo con lo estipulado en la norma vigente en ese momento.

Tabla 29. Aplicabilidad de la normatividad a la evaluación de la calidad del Río Botello aguas arriba y aguas abajo en el año 2015

Variable	Unidad	Resultado	Cumple		Resultado	Cumple		Decreto 1594 de 1984	
			Si	No		Si	No	Art. 38	Art. 39
Aguas Arriba	Aguas Abajo								
Coliformes totales	NPM/100 ml	160000		x	160000		x	20000	1000
Coliformes fecales	NPM/100 ml	160000		x	160000		x	2000	N.R.
Dureza	(mg CaCO ₃ /L)	0,00			0,00			N.R.	N.R.
Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /L)	0,00			0,00			N.R.	N.R.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	496			561,40			N.R.	N.R.
Sólidos sedimentables	mg/L	1,25			3,08			N.R.	N.R.
Temperatura	°C	21,15			21,06			N.R.	N.R.
pH	Unidades	7,01	x		7,29	x		5 – 9	6.5 – 8.5
Conductividad eléctrica	(µS/cm)	0,00			828,40			N.R.	N.R.
Fosforo total	mg/L	3,48			2,97			N.R.	N.R.
Nitrógeno total	mg/L	88,25			91,04			N.R.	N.R.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	844,50			1481			N.R.	N.R.
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	313,50			300,60			N.R.	N.R.
Oxígeno Disuelto	mg/L	0,24			0,22			N.R.	N.R.

Adaptada de: (Análisis de aguas y suelos - ANASCOL, 2015)

Nota: Recuperado de Análisis fisicoquímico de agua cruda superficial, caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de aguas superficiales receptoras de vertimientos y caracterización fisicoquímica de aguas residuales. Copyright 2015 por Anascol S.A.S. Reproducido con permiso.

Para el año 2015, se muestra en la tabla 29 el cumplimiento de los parámetros de coliformes totales, coliformes fecales, dureza, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, temperatura, pH, fósforo total, nitrógeno total, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y conductividad eléctrica, así como los límites establecidos versus los resultados obtenidos por punto de muestreo para el año de evaluación, tanto para los puntos ubicados aguas arriba, como para los puntos aguas bajo, teniendo en cuenta el objetivo de uso del agua en los puntos identificados, es decir captación de aguas para destino de uso doméstico cuya potabilización requiere tratamiento convencional o de desinfección, esto debido al aumento de actividad poblacional, implementación de actividad agrícola y pecuaria a pequeña escala, por ello, se evalúa la norma 1594 de 1984, artículos 38 de los criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico y que para su potabilización se requiere un tratamiento convencional (IDEAM, 1984) y 39 de los criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico y que para su potabilización se requiere solo desinfección (IDEAM, 1984).

Para este año se encontró que, de los parámetros establecidos en la norma solo cumple con el rango de pH al encontrarse dentro de los valores estándar, sin embargo, se evidencia que sobrepasa los rangos de parámetros como coliformes fecales y coliformes totales ya que la norma establece en su artículo 38 que estos deben hallarse dentro de los 2.000 microorganismos por cada 100ml y 20.000 microorganismos por cada 100 ml respectivamente para consumo humano y doméstico y que para cuya potabilización se requiere un tratamiento convencional, en cuanto al mismo uso del agua pero con potabilización por desinfección según artículo 39, se establece que, los coliformes totales deben estar sobre los valores de 1.000 microorganismos por cada 100 ml. Valores que claramente muestran el incumplimiento a la norma vigente en el momento.

Tabla 30. Aplicabilidad de la normatividad a la evaluación de la calidad del Río Botello aguas arriba año 2016

Variable	Unidad	Resultado	Decreto 1594 de 1984		Cumple	
			Art. 38	39	Si	No
Aguas Arriba						
Coliformes totales	NPM/100 ml	113666,67	20000	1000		x
Coliformes fecales	NPM/100 ml	74666,67	2000	N.R.		x
Dureza	(mg CaCO ₃ /L)	0,00	N.R.	N.R.		
Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /L)	0,00	N.R.	N.R.		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	31,00	N.R.	N.R.		
Sólidos sedimentables	mg/L	8,17	N.R.	N.R.		
Temperatura	°C	18,37	N.R.	N.R.		
pH	Unidades	7,33	5 – 9	6.5 – 8.5	x	
Conductividad eléctrica	(μS/cm)	435,20	N.R.	N.R.		
Fosforo total	mg/L	2,88	N.R.	N.R.		
Nitrógeno total	mg/L	16,06	N.R.	N.R.		
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	322,63	N.R.	N.R.		
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	44,33	N.R.	N.R.		
Oxígeno Disuelto	mg/L	1,40	N.R.	N.R.		

Adaptada de: (Análisis de Agua y Suelos de Colombia - ANASCOL, 2016)

Nota: Recuperado de Análisis fisicoquímico de agua cruda superficial, caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de aguas superficiales receptoras de vertimientos y caracterización fisicoquímica de aguas residuales. Copyright 2016 por Anascol S.A.S. Reproducido con permiso.

Finalmente, para el año 2016 se evalúa la norma 1594 de 1984, artículos 38 y 39 de los criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico y que para su potabilización se requiere un tratamiento convencional, así como tratamiento de desinfección para los parámetros identificados aguas arriba.

Dentro de los resultados obtenidos, al igual que en el año 2015, incumple con los parámetros de coliformes totales y coliformes fecales para uso del recurso en actividades de consumo humano y doméstico, para parámetros de pH se evidencia que el cuerpo hídrico contiene unidades dentro de los rangos normativos. Por otro lado, teniendo como base su artículo 38, se estima que los coliformes totales y fecales deben hallarse dentro de los 20.000 microorganismos por cada 100ml y 2.000 microorganismos por cada 100 ml respectivamente y que para cuya potabilización se requiere un tratamiento convencional, en cuanto al mismo uso del agua, pero con potabilización por desinfección según artículo 39, se establece que, los coliformes totales deben estar sobre los valores de 1.000 microorganismos por cada 100 ml. Valores que claramente muestran el incumplimiento a la norma vigente en el momento, previa transición a la norma 0631 tomada como base para aguas debajo de este mismo año de evaluación.

Tabla 31. Aplicabilidad de la normatividad a la evaluación de la calidad del Río Botello aguas abajo año 2016

Variable	Unidad	Resultado	Resolución 0631	
			Art. 8	Cumple Si No
Aguas Abajo				
Coliformes totales	NPM/100 ml	3872000	N.R.	
Coliformes fecales	NPM/100 ml	3872000	N.R.	
Dureza	(mg CaCO ₃ /L)	13,16	Análisis y Reporte	
Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /L)	57,40	Análisis y Reporte	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	107,40	90	x
Sólidos sedimentables	mg/L	3,65	5,0	x
Temperatura	°C	19,02	40,00	x
pH	Unidades	7,37	6.0 – 9.0	x
Conductividad eléctrica	(μS/cm)	505,18	N.R.	
Fosforo total	mg/L	4,44	Análisis y Reporte	
Nitrógeno total	mg/L	31,94	Análisis y Reporte	
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	389,30	180	x
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/L	126,70	90	x
Oxígeno Disuelto	mg/L	1,22	N.R.	

Adaptada de: (Análisis de Agua y Suelos de Colombia - ANASCOL, 2016)

Nota: Recuperado de Análisis fisicoquímico de agua cruda superficial, caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de aguas superficiales receptoras de vertimientos y caracterización fisicoquímica de aguas residuales. Copyright 2016 por Anascol S.A.S. Reproducido con permiso.

Para aguas abajo, con la transición de normatividad aplicable a los estudios de uso y objetivo del agua, se evalúa la resolución 0631 de 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y sistemas de alcantarillado público (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), adicionalmente se toma como referente al ser disposiciones aplicables para captación y descarga, según artículo 3 de la resolución, el cumplimiento de dichas disposiciones se establecen en las tabla 31, basados en los datos igualmente facilitados por la Empresa Aguas de Facatativá, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios SAS ESP.

Con los resultados recolectados de los parámetros que engloban la calidad del agua para captación y vertimiento en los puntos de monitoreo, se encontró que, para parámetros como pH, temperatura y sólidos sedimentables se encuentran dentro de los rangos establecidos en el artículo 8 del decreto vigente y que para los parámetros como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales (SST) sobrepasan los rangos estipulados al tener como resultados de 107,40 mg/L, 389,30 mg/L y 126,70 mg/L respectivamente, lo cual frente a los rangos de 90 mg/L de DBO_5 , 180 mg/L de DQO y 90 mg/L de SST exigidos por la normatividad las aguas para captación y uso doméstico no cumplen con los requerimientos de objetivo del agua, así como incumple los parámetros estipulados para vertimientos en cuerpo hídrico. Apoyando los resultados de alta contaminación y baja calidad de la microcuenca del Río Botello obtenida con la evaluación de los índices de calidad (ICA) y contaminación (ICO).

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- El índice de contaminación (ICO) hace referencia a los mecanismos de contaminación que sufre un cuerpo hídrico derivado de las actividades que se desarrollan en un espacio, para el caso de evaluación de dichos índices en la microcuenca del Río Botello se establecieron escenarios de importancia para los subíndices ICOMO e ICOTRO presentando calificación de calidad Muy Mala al poseer elementos como materia orgánica y otros materiales mineralizantes que alteran las características de la calidad del agua y por ende, los objetivos de uso establecidos para la microcuenca y el desarrollo socioeconómico de la población afectando de manera directa el suelo y disposición de aguas para consumo humano y animal del municipio, especialmente en las áreas rurales.
- El año con mayor nivel de contaminación y más baja calidad de agua se evidenció en el año 2015, debido a la presencia de periodos de extrema sequía que impedía que este cuerpo hídrico transportara los vertimientos como cargas difusas y por el contrario se incrementara la degradación de las pocas aguas que recorrían el cauce al igual que los suelos del municipio, afectando así mismo la disposición de agua para uso en actividades domésticas e industriales conllevando a un periodo de racionamiento.
- Los niveles de calidad de agua arrojados de la evaluación de los años 2014 a 2016 no poseen los requerimientos mínimos establecidos dictados por la normatividad en sus artículos 38 y 39 de captación para consumo humano y uso doméstico al obtener altos rangos de contaminación, de igual manera se establece que no cumple los parámetros de vertimientos al cuerpo hídrico según artículos 72 y 74 sobrepasando por el contrario los límites permisibles para las actividades establecidas.

- La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio no cuenta con los parámetros de funcionamiento al incumplir los porcentajes de remoción de contaminantes como DBO_5 y sólidos suspendidos totales que permitan mejorar las condiciones del agua en puntos de desarrollo económico aguas abajo y que disminuya la pérdida de biodiversidad y biota en el cuerpo hídrico.
- Se determinó que toda actividad de desarrollo económico y social en un territorio propende a la contaminación de recursos hídricos por lo que mediante la gestión de los recursos sería conveniente la instalación de límites perimétricos que limiten la captación y vertimiento de estas aguas previniendo el aumento de contaminación y eutrofización del cuerpo hídrico.
- Las estructuras de captación y vertimiento de aguas al cuerpo hídrico son inapropiadas o están deterioradas provocando un mal desempeño en el objetivo de retención y remoción de ciertos contaminantes ayudando al proceso llevado a cabo en la planta de tratamiento del municipio, así como el aumento de contaminantes que afectan la salud humana de los que captan sus aguas en tramos posteriores al nacimiento del río.
- Los altos índices de coliformes totales y fecales analizados en los diferentes puntos de monitoreo sobrepasan la norma establecida y aunque algunos como los coliformes totales se encuentren en el ambiente, otros como los fecales se encuentran presentes en excretas humanas y animales que al hacer parte de las aguas residuales vertidas se convierten en indicadores de apoyo de identificación de los niveles de contaminación del agua evaluada, estos pueden causar enfermedades y poner en riesgo la salud de la población que usa estas aguas con fines domésticos y pecuarios.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda un mayor control sobre los vertimientos realizados a la microcuenca del Río Botello desde su nacimiento mediante políticas de gestión del recurso hídrico que permita establecer mejoras en el nivel de la calidad de agua.
- Se hace necesario un estudio a profundidad de la biocenosis presente en la microcuenca del río, así como el aporte de nutrientes o afectación directa de estos en las plantas cultivadas y suelo establecido para actividades agrícolas a fin de determinar su efecto sobre las características de los suelos, la salud de los humanos y animales que consumen dichos productos.
- La ejecución de un estudio sobre las características de las macrófitas presentes en la microcuenca del Río Botello para uso en sistemas de tratamiento de agua residual, producción de combustible o producción de material absorbente basados en estudios de caso registrados.
- Ejercer mayor control sobre el funcionamiento de los sistemas sépticos instalados tanto antiguos como nuevos a fin de determinar a tiempo las condiciones estructurales que impidan infiltraciones y fugas que sigan incrementando los niveles de contaminación de la microcuenca del Río Botello.
- Ejercer mayor control sobre las actividades agropecuarias y domésticas en la zona rural del municipio a fin de controlar los vertimientos de origen antrópico sobre la microcuenca que permitan reducir los niveles de contaminación y de este modo ejercer mayor gestión sobre los recursos disponibles para el desarrollo de actividades económicas.
- Mejorar los programas de monitoreo y análisis de parámetros sobre la microcuenca a fin de poder establecer de mejor manera y de un modo más completo las condiciones de calidad y contaminación mediante un seguimiento periódico.

7. Bibliografía

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA. (11 de Julio de 2016). *Glosario Ambiental Bilingüe*. Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA: <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-d>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA. (11 de Julio de 2016). *Glosario Ambiental Bilingüe*. Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA: <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-p>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA. (11 de Julio de 2016). *Glosario Ambiental Bilingüe*. Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA: <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-s>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA. (11 de Julio de 2016). *Glosario Ambiental Bilingüe*. Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA: <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-o>

Alcaldía de Facatativá - Cundinamarca. (8 de Marzo de 2016). *Sitio oficial de Facatativá en Cundinamarca, Colombia*. Obtenido de <http://www.facatativa-cundinamarca.gov.co/>

Alcaldía de Facatativá. (24 de Abril de 2013). *Secretaria de cultura y juventud*. Obtenido de Breve reseña histórica de Facatativá: <https://www.youtube.com/watch?v=2P1r6Vp9y3Y>

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2013). *Nuestro Centro es el Agua*. Obtenido de Cerros de Bogotá: <http://cerrosdebogota.org/bibliotecavirtual/agua/descargables/cartillariovicacha.pdf>

- Alcaldía Municipal de Facatativá. (2014). Distribución poblacional zona rural. *Reconocimiento físico del territorio*, 4 - 04. (A. M. Facatativá, Recopilador) Facatativá, Facatativá, Colombia. Recuperado el 05 de Enero de 2017
- Alcaldía municipal de Facatativá. (2014). Distribución poblacional zona urbana del municipio. *Etapas Diagnóstico*, 07 - 01. (A. m. Facatativá, Recopilador) Facatativá, Facatativá, Colombia. Recuperado el 05 de Enero de 2017
- Alcaldía municipal de Facatativá. (2014). Estructura Hídrica de Facatativá. *Reconocimiento físico del territorio*, 4 - 13. (A. m. Facatativá, Recopilador) Facatativá, Facatativá, Colombia. Recuperado el 5 de Mayo de 2017
- Alcaldía municipal de Facatativá. (2014). Reconocimiento físico del territorio. *Cuencas - Subcuencas*, 4 - 14. (A. m. Facatativá, Recopilador) Facatativá, Facatativá, Colombia. Recuperado el 14 de Abril de 2017
- Aldana, L. (2015). *Subcuenca del Río Andes*. Facatativá: Universidad de Cundinamarca.
- Análisis de Agua y Suelos de Colombia - ANASCOL. (2016). *Captación, tratamiento y distribución de agua*. Facatativá.
- Análisis de aguas y suelos - ANASCOL. (2015). *Informe captación, tratamiento y distribución de agua*. Original, Análisis de aguas y suelos, Bogotá. Recuperado el 14 de Junio de 2017
- ANTEK. (2014). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de agua residual doméstica e industrial*. Caracterización, Bogotá. Recuperado el 14 de junio de 2017
- Aportes Ingecivil. (2016). *Aportes IngeCivil*. Obtenido de <http://aportesingecivil.com/golden-software-surfer-v13/>
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. (25 de Octubre de 2010). *ANDI*. Obtenido de http://www.andi.com.co/es/PC/SobProANDI/Documentos%20Sobre%20Procultivos%20ANDI/Decreto3930_2010.pdf
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. (25 de Octubre de 2010). *DECRETO 3930 DE 2010*. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de ANDI: http://www.andi.com.co/es/PC/SobProANDI/Documentos%20Sobre%20Procultivos%20ANDI/Decreto3930_2010.pdf
- Bolívar, L. (2015). *Acta de informe de gestión*. Facatativá: Aguas de Facatativá.
- Cañas, J. ((s,f)). *DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (Icos) EN CUERPOS DE AGUA*. Bogotá: Repositorio Universidad Militar.

- Cañas, Juan. (s.f.). *Determinación y evaluación de índices de contaminación en cuerpos de Agua*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de Repositorio Universidad Militar: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf>
- Centro de investigaciones en Hidroinformática. (2007). *Informe Final Contrato 111/2007*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Bogotá. Recuperado el 5 de Septiembre de 2017, de IDEAM CIH UP: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020735/Informe%20Final/IFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf>
- Ciencia Geográfica. (2011). *Los Ríos*. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de Carta pedagógica : <http://cienciageografica.carpetapedagogica.com/2008/03/los-rios.html>
- Climate-Data. (0 de 0 de s.f). *Climate-Dta.org*. Obtenido de <http://es.climate-data.org/location/28652/>
- Colombia prevé sequía "muy fuerte" y falta de agua hasta marzo de 2016. (5 de Octubre de 2015). *El Espectador*. *Colombia prevé sequía "muy fuerte" y falta de agua hasta marzo de 2016*, págs. <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/colombia-preve-sequia-muy-fuerte-y-falta-de-agua-hasta-articulo-590869>.
- Comisión Nacional del Agua. (0 de 0 de 2012). *Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=63&n3=98&n4=98>
- Concejo del municipio de Facatativá. (2012). *Plan de desarrollo económico, social, ambiental y de obras públicas*. Recuperado el 28 de Abril de 2017, de Facatativá Cundinamarca: <http://www.facatativa-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/32666261396530396563616434656231/plan-desarrollo-todos-somos-facatativa.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (18 de Mayo de 2017). *Caudales máximos y mínimos absolutos*. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de CAR Autoridad Ambiental con Alternativas de Desarrollo.
- DANE. (14 de Septiembre de 2010). *Censo General 2005*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de Barrancabermeja: <https://www.barrancabermeja.gov.co/institucional/Indicadores%20de%20Impacto/Bolet%C3%ADn%20CENSO%20General%202005.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional De Estadística. (2005). *Anexo 5 - Sistema de Información del Medio Ambiente*. Recuperado el 14 de junio de 2017, de DANE: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_suspension.pdf
- El Espectador. (5 de Marzo de 2015). *Colombia, Brasil y Perú, entre los 10 países que más agua tienen en el mundo*. Obtenido de

<http://www.elspectador.com/noticias/actualidad/colombia-brasil-y-peru-entre-los-10-paises-mas-agua-tie-articulo-547715>

El Tiempo. (23 de Noviembre de 2015). *Facatativá vive su peor crisis por falta de agua*. Obtenido de Bogotá: <http://www.eltiempo.com/bogota/facatativa-vive-su-peor-crisis-por-falta-de-agua/16439266>

Facatativá, A. M. (2014). *División Político Administrativa*. Facatativá: Habitat Integral Facatativá. Recuperado el 31 de Abril de 2017

Fernandez, N., & Solano, F. (2005). *Indices de Calidad y de Contaminación del Agua*. Pamplona: Universidad de Pamplona.

Fernandez, N., & Solano, F. (11 de Noviembre de 2005). *Indices de Calidad y de Contaminación del Agua*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de Universidad de Pamplona:
http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp

Fernandez, N., Ramos, G., & Solano, F. (2005). *Icatest v1.0.0.44 - Una Herramienta para la Valoración de la Calidad del Agua*. doi:ISBN 958-33-7810-0

García, P., Fernández, R., & Cirujano, S. (2009). *Habitantes del agua - Macrófitos*. Recuperado el 30 de Agosto de 2017, de Agencia Andaluza del Agua. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.:
http://www.jolube.es/pdf/libro_macrofitos_andalucia_2010.pdf

Gobernación de Cundinamarca. (2014). *Estadísticas Cundinamarca 2011 - 2013*. Recuperado el 31 de Mayo de 2017, de Gobernación de Cundinamarca:
<http://www.cundinamarca.gov.co/wps/wcm/connect/04aecefa-79d0-4a3c-be08-9440023c225a/TACO+estadisticas+cundinamarca+Publicaci%C3%B3n+WEB.compressed.pdf?MOD=AJPERES>

Google. (Febrero de 2017). *Mapa de Facatativá*. Obtenido de Facatativá:
<https://www.google.com.co/maps/place/Facatativ%C3%A1,+Cundinamarca/@4.8081374,-74.3437305,14.19z/data=!4m5!3m4!1s0x8e3f7c5fb29436d7:0xee2cd73daf20759c!8m2!3d4.809984!4d-74.354009>

Google Earth. (20 de Diciembre de 2015). *Puntos de interés año 2014*.

Google Earth. (12 de Diciembre de 2015). *Puntos de interés año 2015*. Recuperado el 2 de Abril de 2017

Google Earth. (20 de Diciembre de 2015). *Puntos de interés año 2016*. Recuperado el 2 de Abril de 2017

- IDEAM. (26 de Junio de 1984). *Decreto 1594 de 1984*. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f
- IDEAM. (Octubre de 2011). *Subsistema de Información. Módulo Físicoquímico Ambiental –MFQA- de la base de datos Oracle*. Recuperado el 06 de Septiembre de 2016, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031
- IDEAM; PNUD. (Abril de 2014). *INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN ADAPTATIVA DE LOS RIESGOS HIDROCLIMATICOS EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. Bogotá. Obtenido de <http://saga.cundinamarca.gov.co/apps/PRICC/resources/Informes/12.pdf>
- IGAC. (s.f.). *Instituto Geografico Agustin Codazzi*. Obtenido de Mapa de Cundinamarca: <http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=19>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (10 de Mayo de 1995). NTC - ISO 5667 - 1. *Directrices para el diseño de programas de muestreo*. Colombia.
- Instituto de Estudios Urbanos. (s.f.). *Tendencia Demográfica*. Obtenido de Geopolítica - Bogotá: <http://institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0120/01211.htm>
- Instituto de Hidrología, M. y. (12 de Julio de 2006). *Conductividad Electrica en Aguas por el metodo Electrometrico*. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de Subdirección de Hidrología Laboratorio de Calidad Ambiental : <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+EI%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2011). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00)*. Obtenido de Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. 10 p.: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/08-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/c0c6eca3-1a2b-484c-82f8-76536f62e2c7
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. . (2014). *Evaluación del recurso hidrico*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (Octubre de 2011). *Formato Común Hoja Metodológica*. Obtenido de Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA): <http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36->

3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_Fl.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (Mayo de 2015). *Estudio nacional del agua*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (13 de 05 de 2004). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/F%C3%B3sforo+Total+en+Agu+a+M%C3%A9todo+del+Acido+Asc%C3%B3rbico.pdf/bf2f449b-4b9b-4270-b77e-159258d653e2>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (07 de 12 de 2006). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (02 de 08 de 2007). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (04 de 06 de 2007). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (30 de 08 de 2007). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (10 de Diciembre de 2012). *Tipificación de procesos industriales*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Tipificacion_+procesosindustriales.pdf/b145f0d9-803f-4bee-8d75-9d2a637dd221

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (0 de 0 de 2014). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2016). *Atlas Interactivo*. Recuperado el 10 de Abril de 2017, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (Mayo de 2015). *Estudio Nacional del Agua*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16404/ENA+cuadros.pdf/9741632b-0e3d-42c8-9ce7-197c0c593b37>
- Jiménez, M., & Vélez, V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial. *Avances en estudios hidraulicos*, 53 - 70.
- Londoño, A., Giraldo, G., & Gutiérrez, Á. (2010). *Métodos analíticos para evaluación de la calidad fisicoquímica del agua*. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/49658/7/9789588280394.pdf>
- Martínez, J. (2011). Métodos de investigación cualitativa. *Silogismo*, 1-43.
- Ministerio de Agricultura. (26 de Junio de 1984). *Instituto Geografico Agustin Codazzi*. Obtenido de http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/DECRETO%201594-1984%20usos%20del%20agua%20y%20residuos%20liquidados.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de Diciembre de 1974). *Decreto 2811 de 1974*. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MADS-0026/MADS-0026.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (22 de Diciembre de 1993). *Ley 99 de 1993*. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de Corpoboyacá: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/Ley-99-1993.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (06 de Junio de 1997). *Ley 373 de 1997*. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). *Resolución 0631 de 2015*. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de MINAMBIENTE: <http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/7bf35b9e-b9ac-45b3-a280-c7dec8b1499d/Resolucion+631-2015.pdf?MOD=AJPERES>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Marzo de 2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Obtenido de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/col146504.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (15 de Julio de 2002). *Documento CONPES 3177*. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3177%20-%202002.pdf>

- Observatorio Ambiental de Bogotá. (26 de Junio de 1984). *Decreto 1594 de 1984*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2017, de Datos e indicadores para medir la calidad del ambiente en Bogotá: <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones/resultado-busqueda/decreto-1594-de-1984>
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (s.f.). *Guía operativa - Selección de lugares de monitoreo*. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de Water Quality Surveys: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/018591/018591-02.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). *La calidad físicoquímica del agua y su influencia en el tratamiento*. Recuperado el 14 de 06 de 2017, de Tratamiento de Agua para Consumo Humano: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/042019/042019-02.pdf>
- Orjuela, L., Saldarriaga, G., García, M., & Wilches, H. (2010). *Estudio Nacional del Agua*. Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP6.pdf>
- Paiba, A., & Monroy, E. (2015). Modelación hidrodinámica y determinación de la calidad de agua del Río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 169 - 183.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. *CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 135 - 153. Obtenido de Researchgate.
- Rubiano, R. (2010). *Fortaleza de Piedra, cruce de caminos*. Obtenido de Facatativá Te Amo: <http://www.facatativateamo.com/pdf/recopilacion-de-la-historia-de-Facatativa.pdf>
- Sánchez, O., Galindo, H., Orjuela, M., Gómez, H., & Ariza, J. (2010). *Población indicadores demográficos de Facatativá*. Facatativá: Secretaria Municipal de Planeación.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente. (2015). *Informe sobre el avance en la ejecución de las metas del plan de saneamiento y manejo de vertimientos para el área rural del municipio de Factativá*. Alcaldía Municipal y Factativá , Cundinamarca, Facatativá. Recuperado el 14 de Junio de 2017
- Secretaría Distrital de Ambiente. (01 de Septiembre de 2015). *INFORME TÉCNICO: DESCRIPCIÓN Y CONTEXTO DE LAS CUENCAS DEL (TORCA, SALITRE, FUCHA Y TUNJUELO)*. Obtenido de DESCRIPCIÓN Y CONTEXTO DE LAS CUENCAS HÍDRICAS DEL DISTRITO CAPITAL: http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=698885eb-239e-4c23-89ca-99d18bef5865&groupId=586236

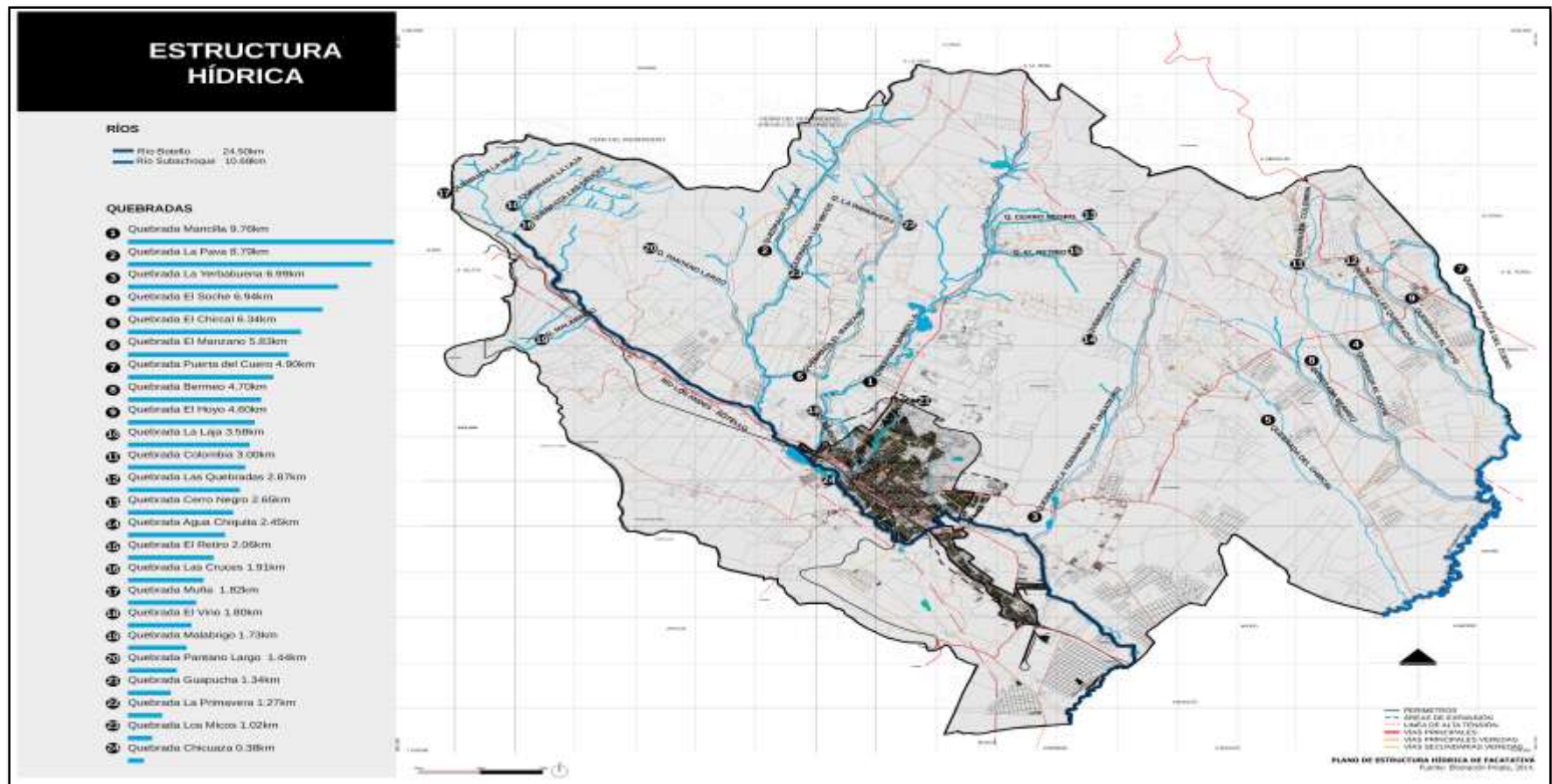
- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá. (Febrero de 2009). *Proyecto de Acuerdo 114 de 2009 Concejo de Bogotá D.C.* Obtenido de Alcaldía Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=35065>
- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (25 de Enero de 1979). *Ley 9 de 1979*. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>
- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (11 de Julio de 1994). *Ley 142 de 1994*. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>
- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. . (21 de Diciembre de 2012). *Decreto 2667 de 2012*. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. : <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042#0>
- Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (06 de Julio de 2009). *RESOLUCIÓN 3956 DE 2009*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2017, de Régimen Legal de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37048#25>
- Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (25 de Octubre de 2010). *Decreto 3930 de 2010*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2017, de Régimen Legal de Bogotá D.C.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>
- Severiche, C., & Castillo, M. A. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas*. Cartagena de Indias: Biblioteca Virtual Eumed.net.
- State Water Resources. (s.f.). *Folleto Informativo Oxígeno Disuelto 3.1.1.0*. Recuperado el 14 de Junio de 2017, de Water Boards: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf
- U.S. Global Change Research Program. (2017). *National Global Change Research Plan 2012–2021*. Obtenido de A Triennial Update: <https://downloads.globalchange.gov/strategic-plan/2016/usgcrp-strategic-plan-2016.pdf>
- UNESCO. (2015). *AGUA PARA UN MUNDO SOSTENIBLE - DATOS Y CIFRAS*. Obtenido de División de Ciencias del Agua, UNESCO: http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf

Universidad de Pamplona. (s.f.). *Capítulo III: Índices de Calidad de Agua (ICAs) y de Contaminación (ICOSs) del Agua de Importancia Mundial*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de Universidad de Pamplona: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf

Vega, H. (2011). *Propuesta Para Promover el Manejo Eficiente del Recurso Hídrico en la Microcuenca Alta del Río Botello en el Municipio de Facatativá, Desde el Marco de la Gestión Integral del Agua*. . Bogotá D.C., Bogotá D.C., Colombia.

Vernier. (s.f.). *Dissolved Oxygen*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2017, de Quality with Vernier : http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf

Anexo A: Mapa 8. Estructura hídrica del municipio de Facatativá



Adaptado de: (Alcaldía municipal de Facatativá, 2014)

Anexo B: Imágenes de etapa de reconocimiento

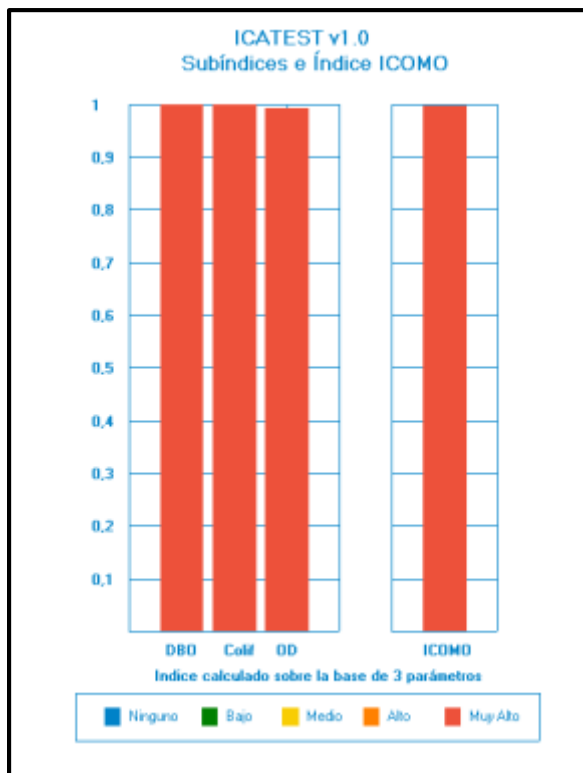


Nota: Modelo instalación de sistemas sépticos en zona rural del municipio

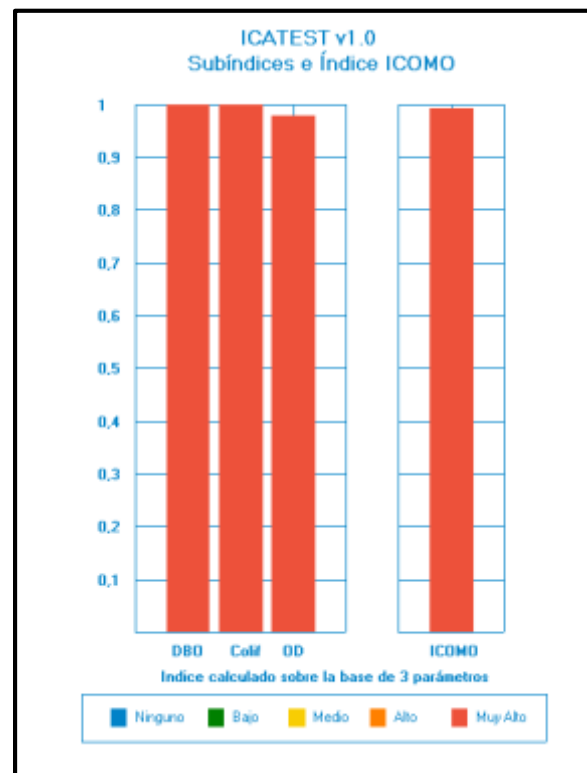


Nota: Presencia de espumas en el tramo de nacimiento del Río

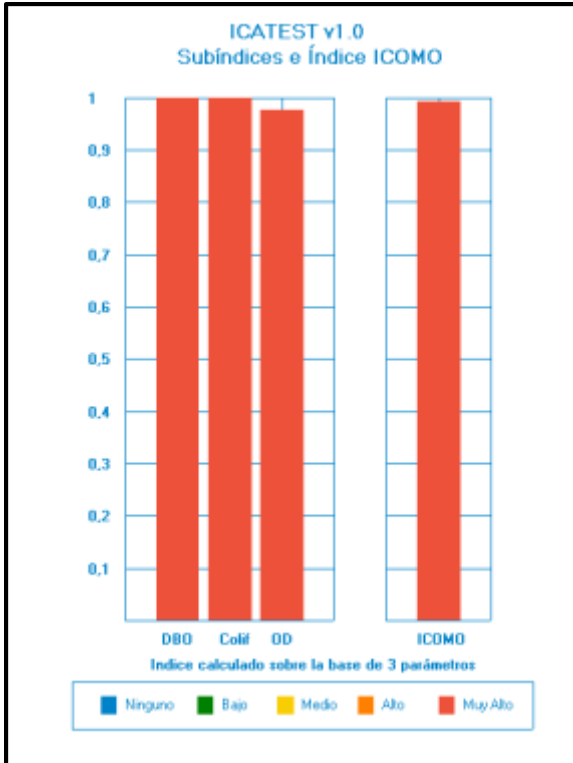
Anexo C: Gráficas arrojadas por ICATest, evaluación ICOMO e ICOSUS por punto año 2014



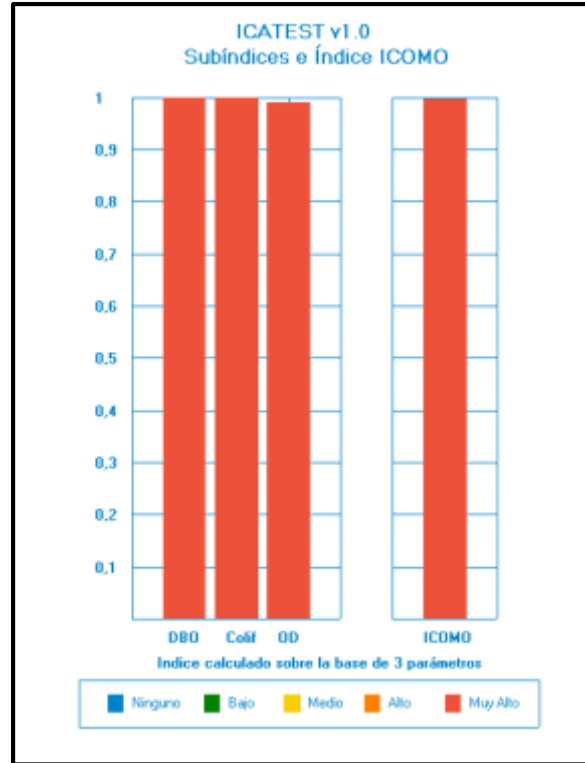
Punto: Entrada PTARD
Fuente: ICATest V. 1.0



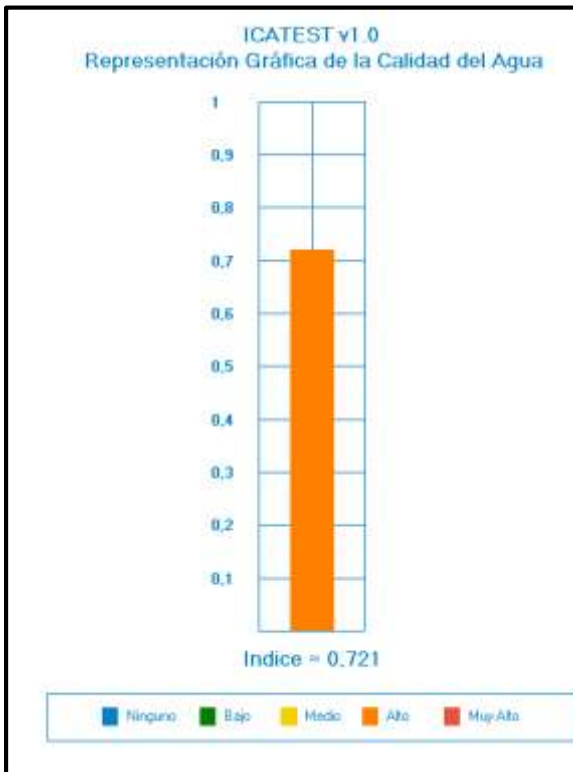
Punto: Salida PTARD
Fuente: ICATest V. 1.0



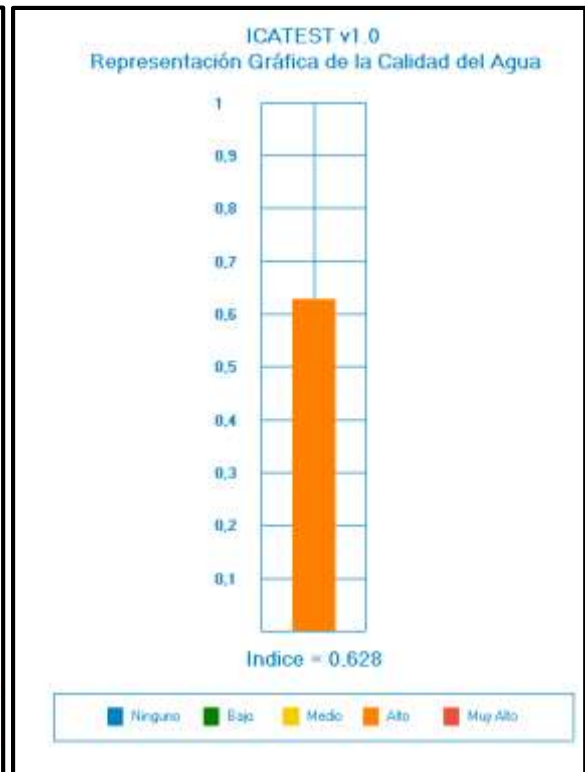
Punto: Vertimiento Cartagena
Fuente: ICATest V. 1.0



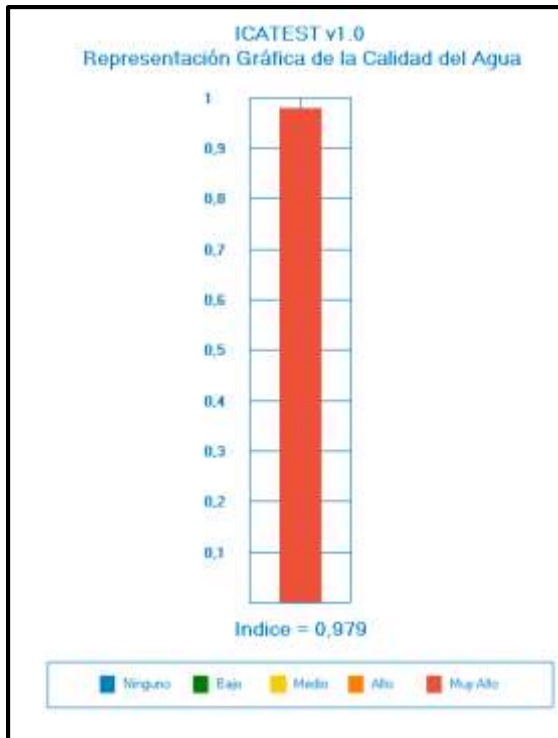
Punto: Vertimiento Santa Marta
Fuente: ICATest V. 1.0



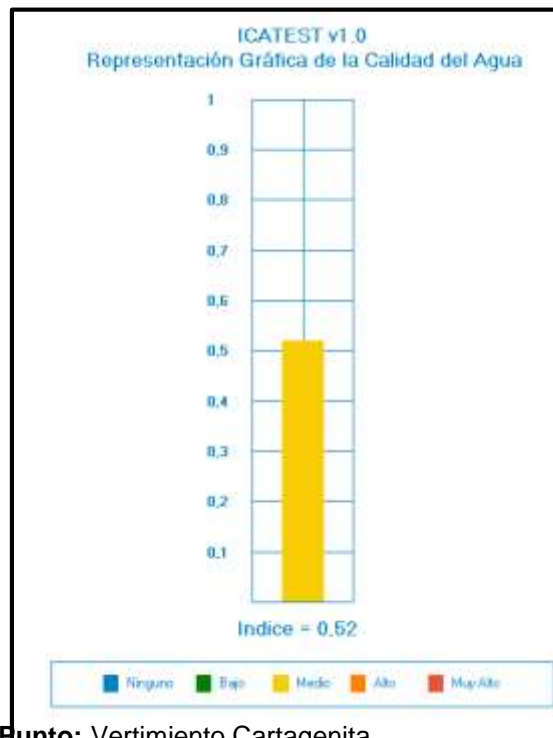
Punto: Entrada PTARD
Fuente: ICATest V. 1.0



Punto: Salida PTARD
Fuente: ICATest V. 1.0



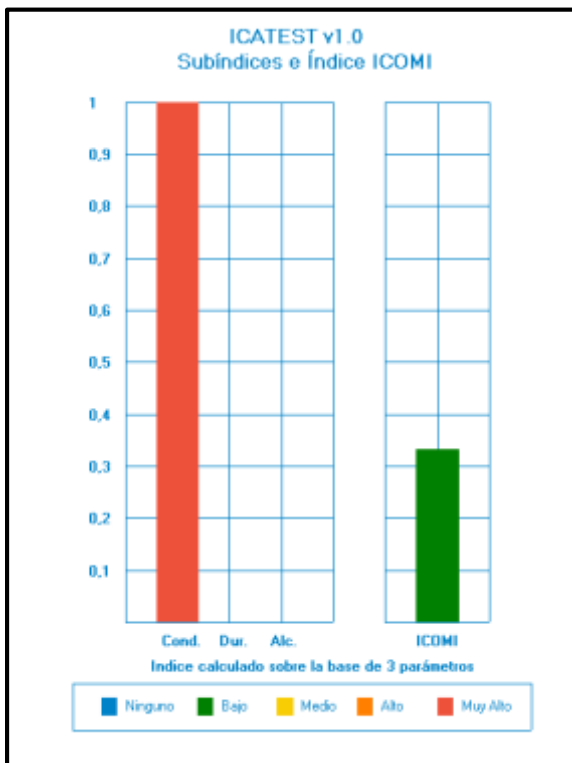
Punto: Vertimiento Santa Marta
Fuente: ICATest V. 1.0



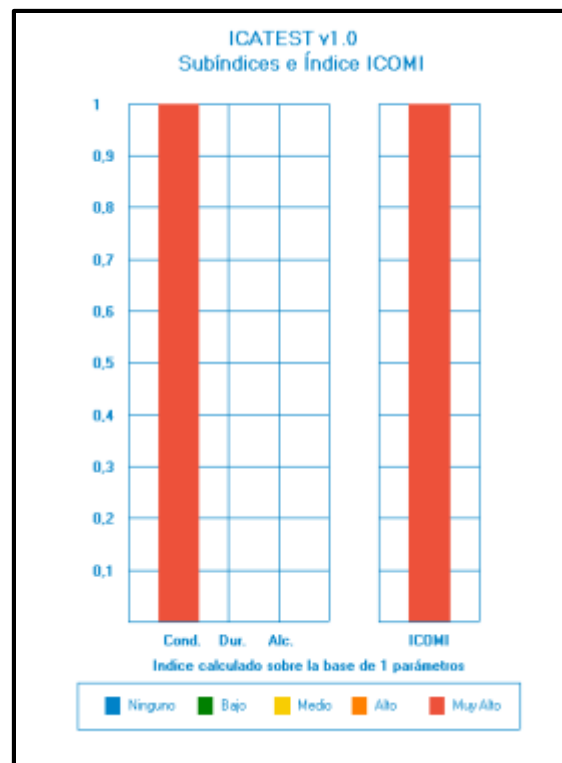
Punto: Vertimiento Cartagenita

Fuente: ICATest V. 1.0

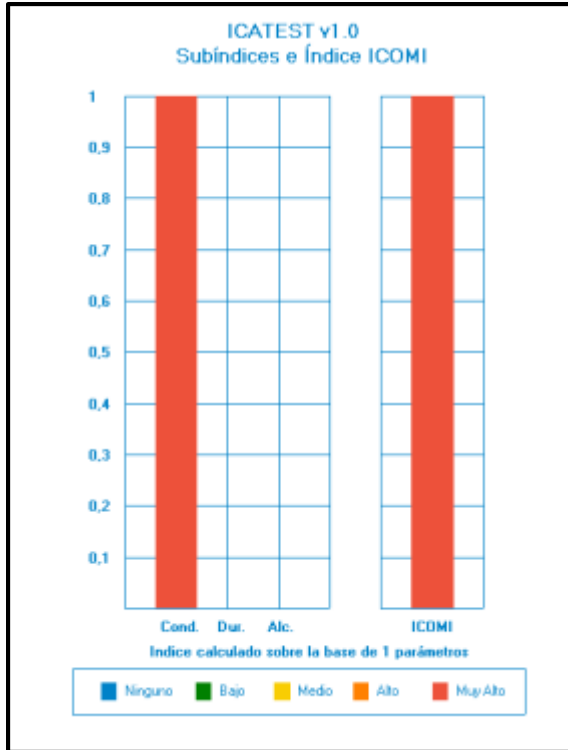
Anexo D: Gráficas arrojadas por ICATest, evaluación ICOMI, ICOMO e ICOSUS por punto año 2015



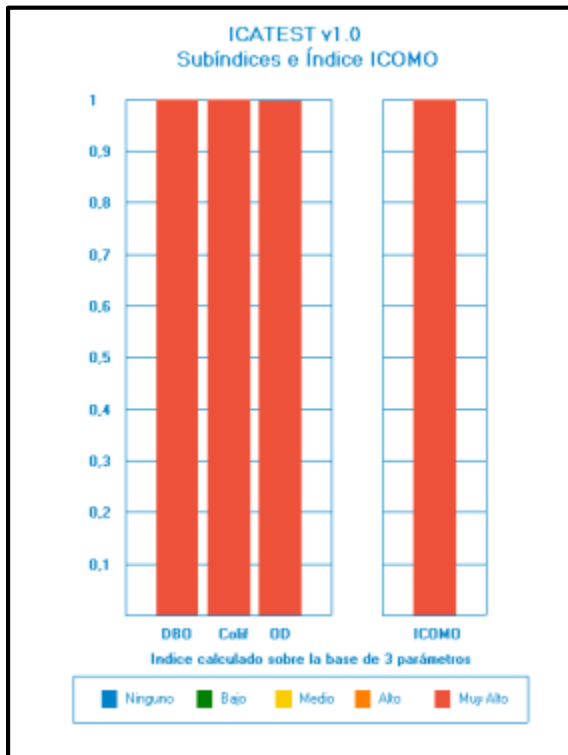
Punto: Cartagenita 2
Fuente: ICATest V. 1.0



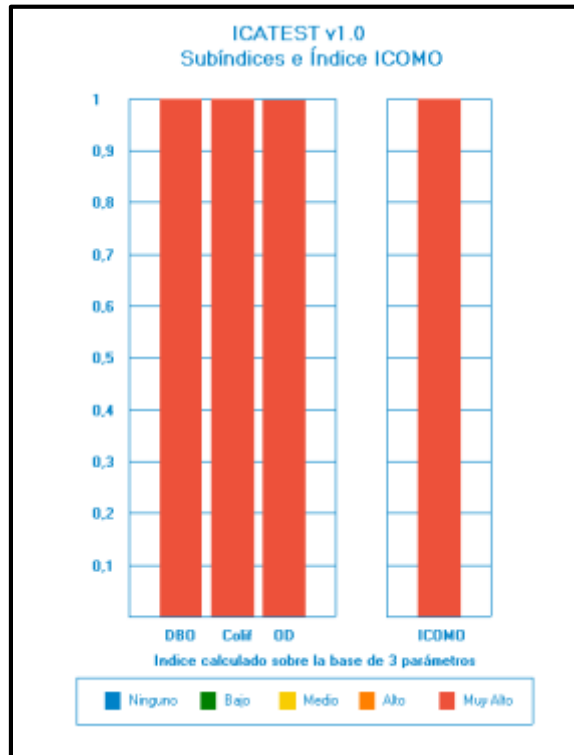
Punto: Cartagenita 1
Fuente: ICATest V. 1.0



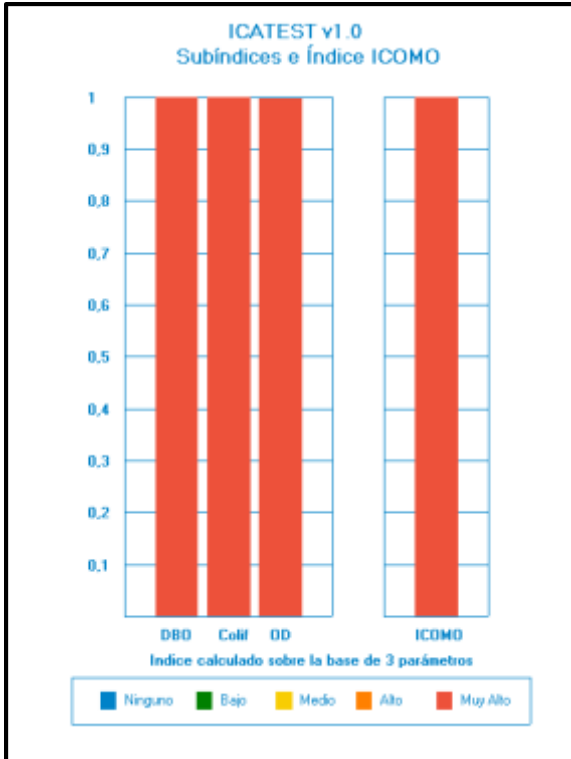
Punto: Santa Marta
Fuente: ICATest V. 1.0



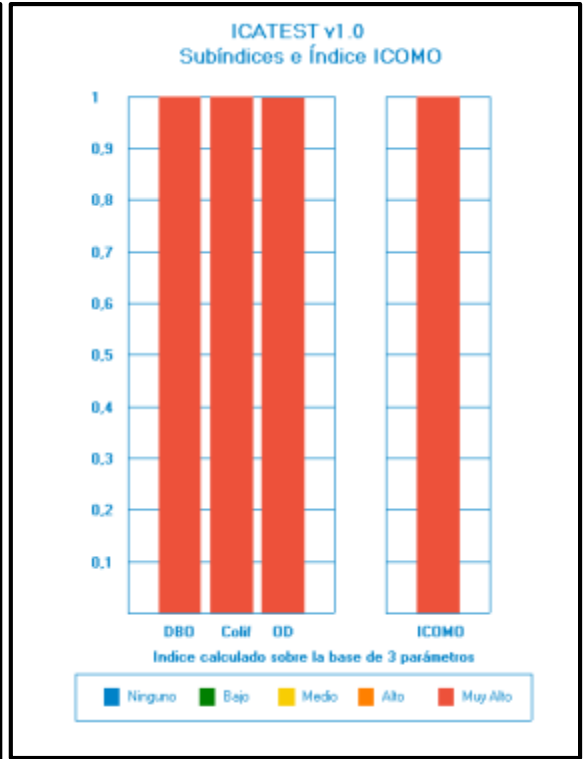
Punto: Cartagena 1
Fuente: ICATest V. 1.0



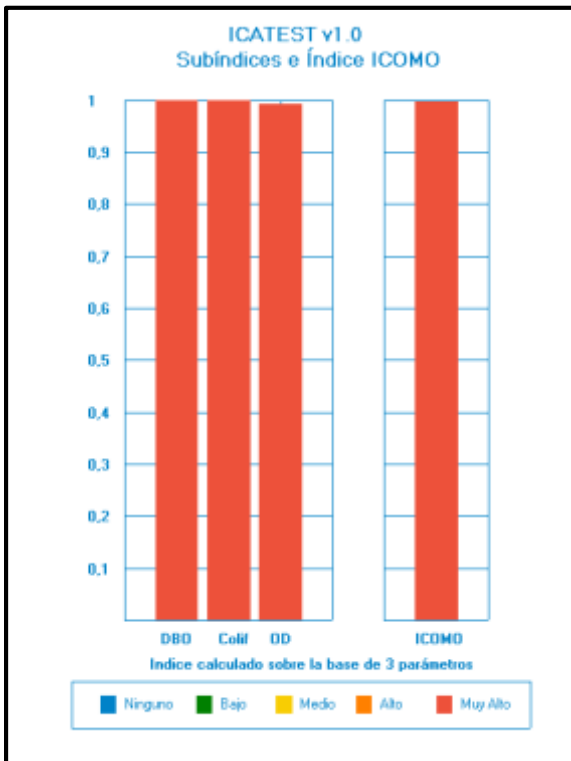
Punto: Cartagena Salida PTARD
Fuente: ICATest V. 1.0



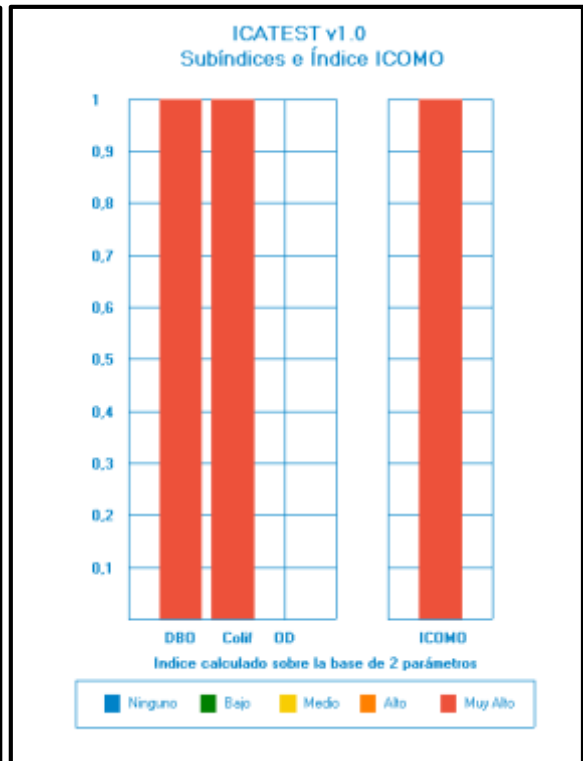
Punto: Cartagenita 2
Fuente: ICATest V. 1.0



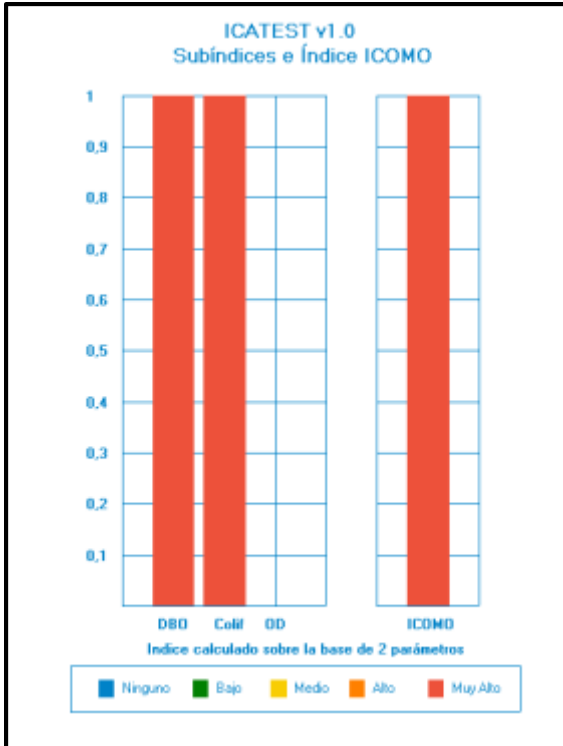
Punto: Cartagenita 1 – Aguas abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



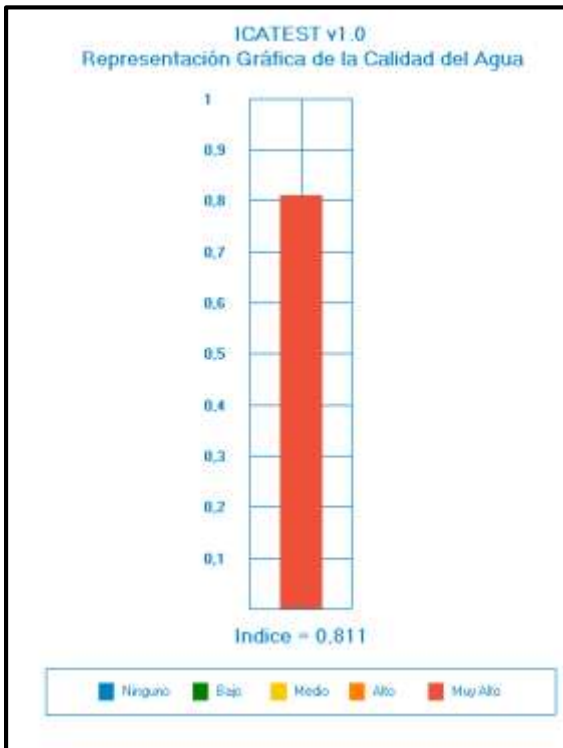
Punto: Santa Marta
Fuente: ICATest V. 1.0



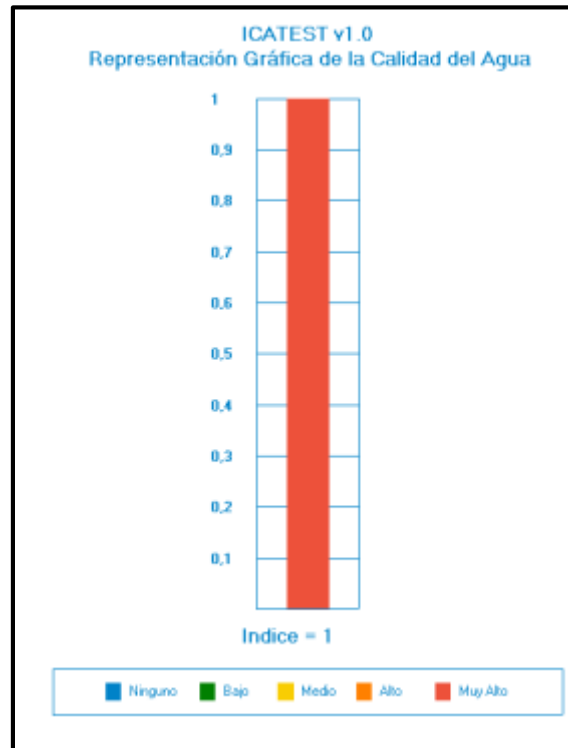
Punto: Vertimiento Cartagenita 1
Fuente: ICATest V. 1.0



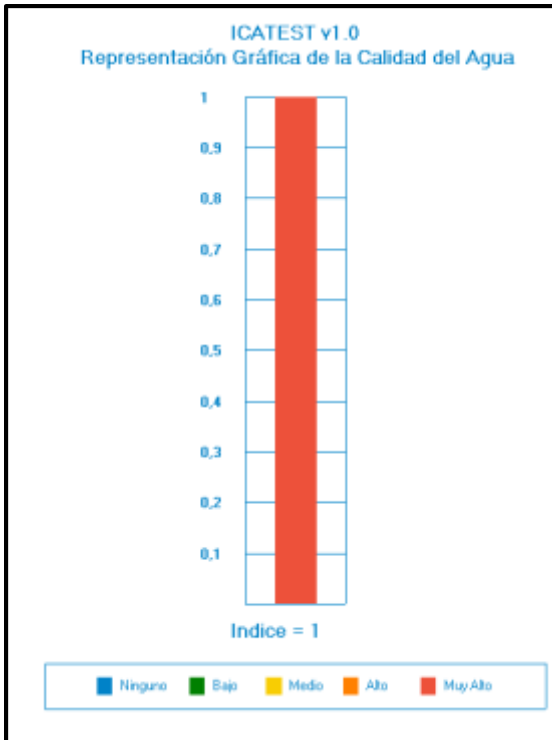
Punto: Vertimiento Cartagenita 2
Fuente: ICATest V. 1.0



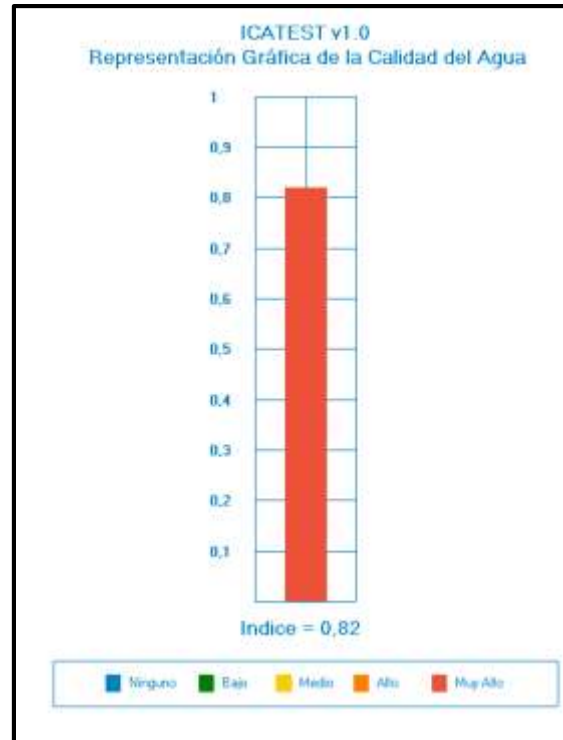
Punto: Cartagenita 1
Fuente: ICATest V. 1.0



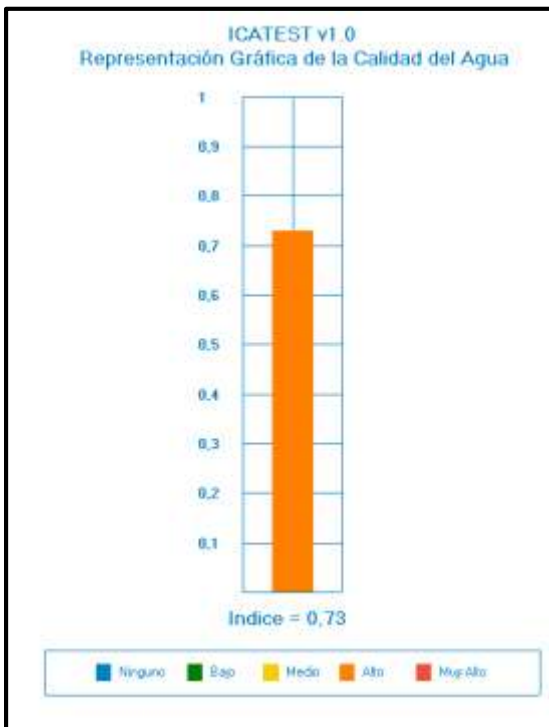
Punto: Salida PTARD
Fuente: ICATest V. 1.0



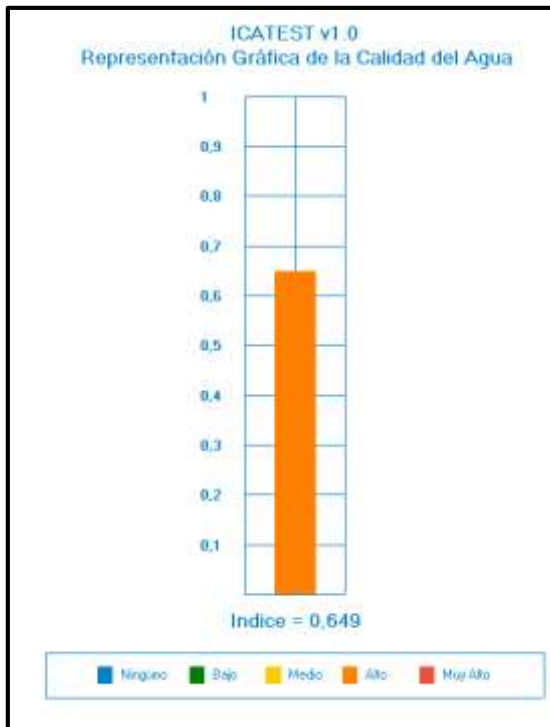
Punto: Cartagenita 2
Fuente: ICATest V. 1.0



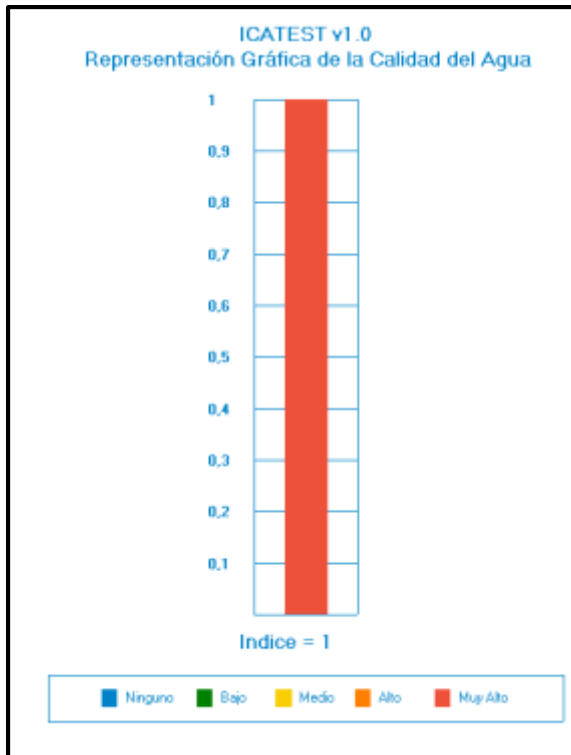
Punto: Cartagenita 1 – Aguas abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



Punto: Santa Marta
Fuente: ICATest V. 1.0



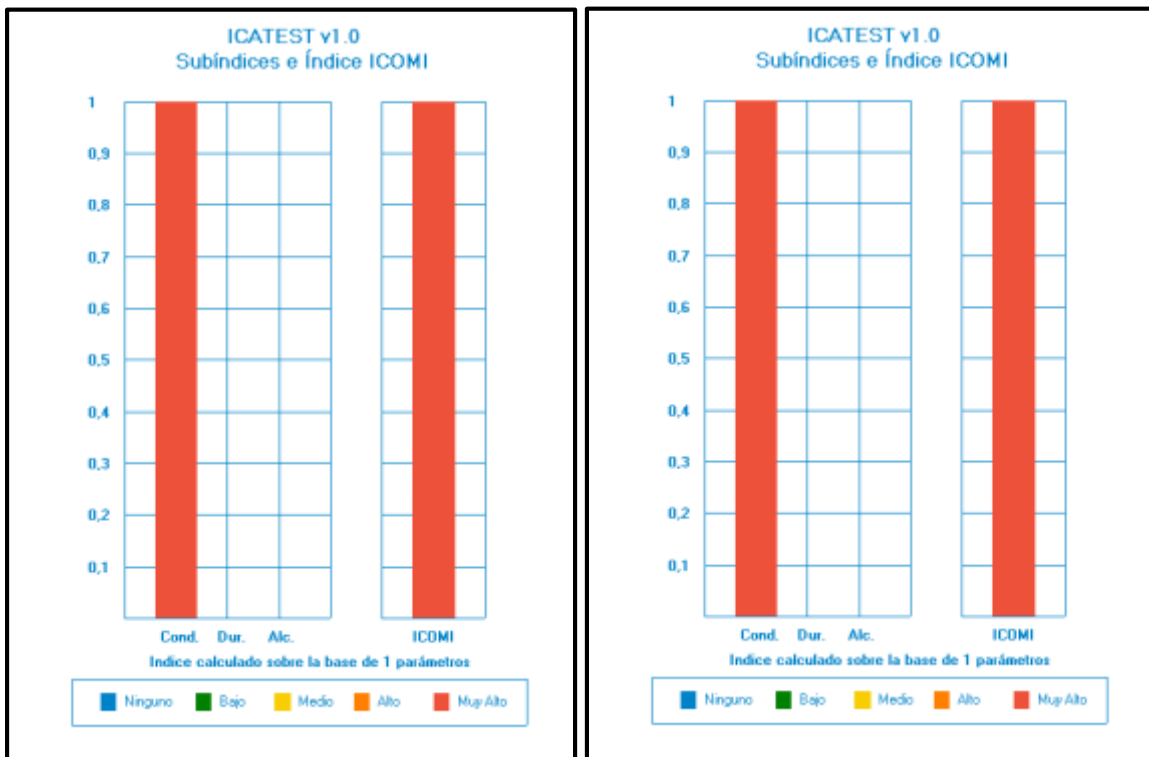
Punto: Vertimiento Cartagenita 1
Fuente: ICATest V. 1.0



Punto: Vertimiento Cartagenita 2

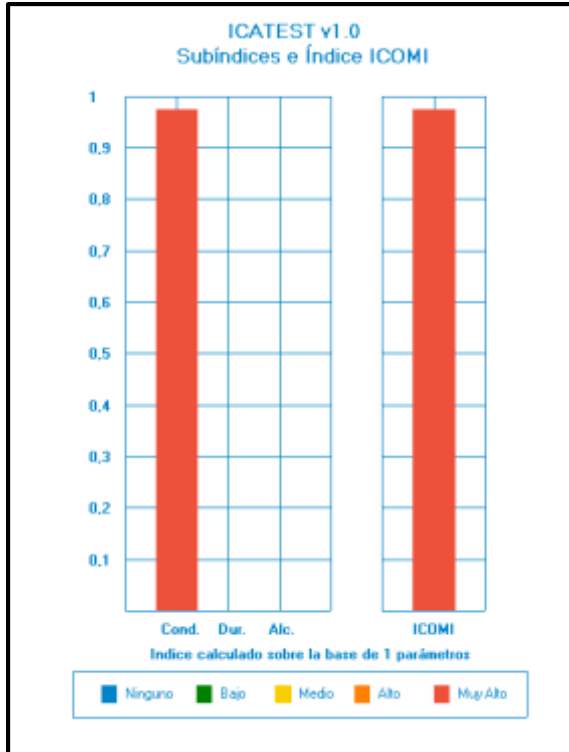
Fuente: ICATest V. 1.0

Anexo E: Gráficas arrojadas por ICATest, evaluación ICOMI, ICOMO e ICOSUS por punto año 2016

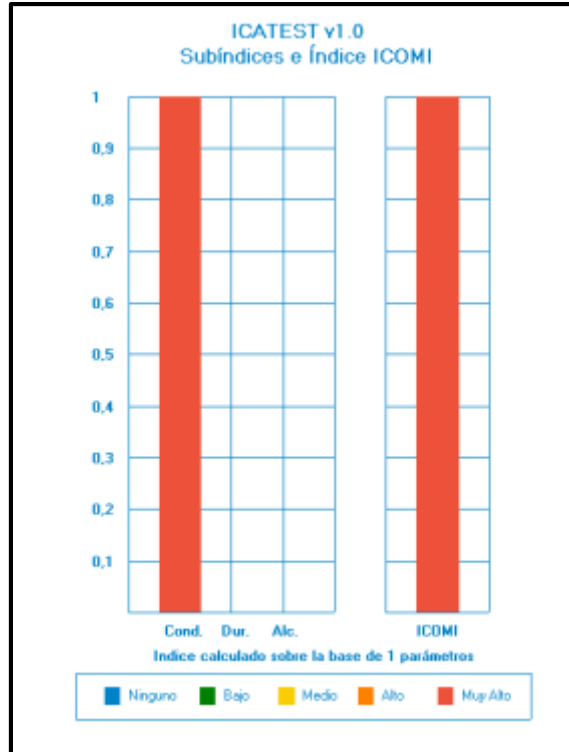


Punto: Vertimiento Arboleda
Fuente: ICATest V. 1.0

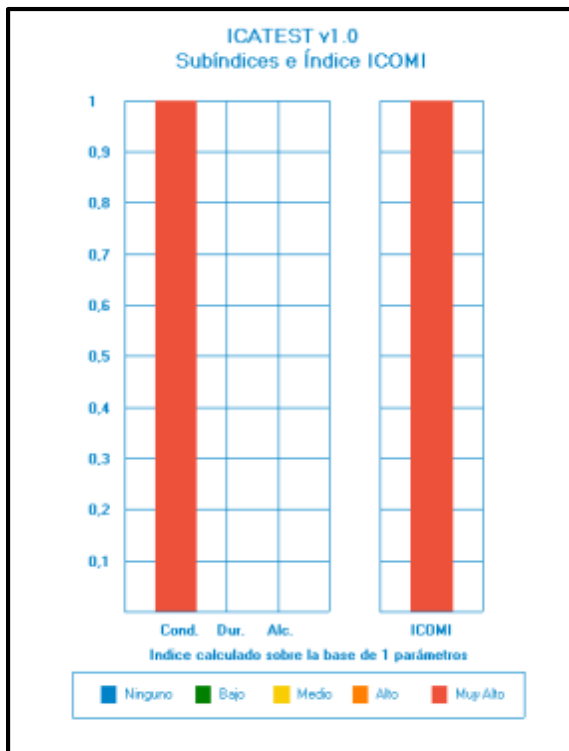
Punto: Vertimiento PTAR
Fuente: ICATest V. 1.0



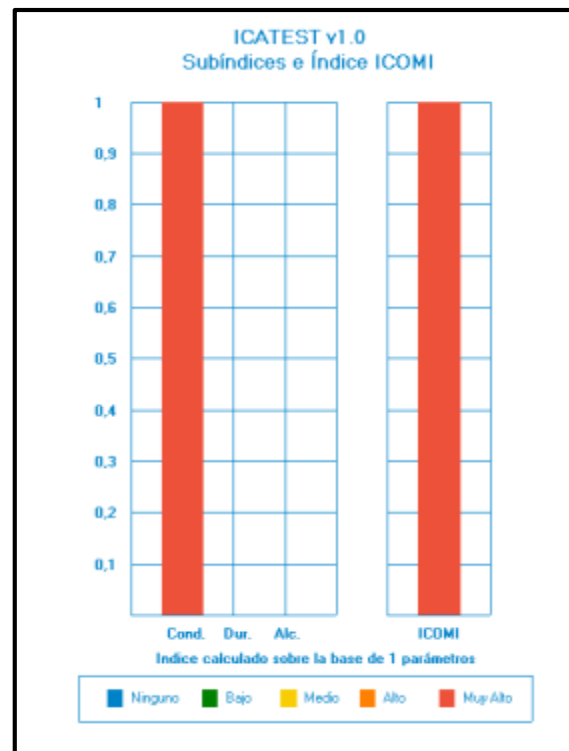
Punto: Vertimiento Cartagena 1
Fuente: ICATest V. 1.0



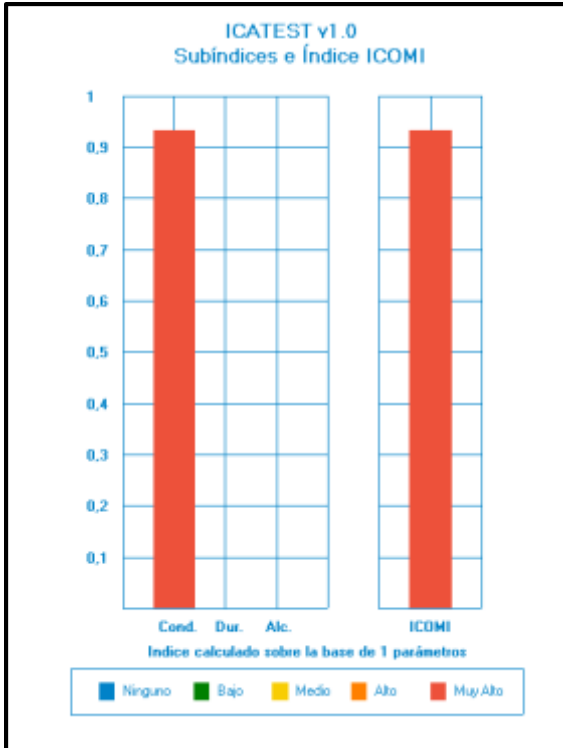
Punto: Vertimiento Arboleda – Aguas abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



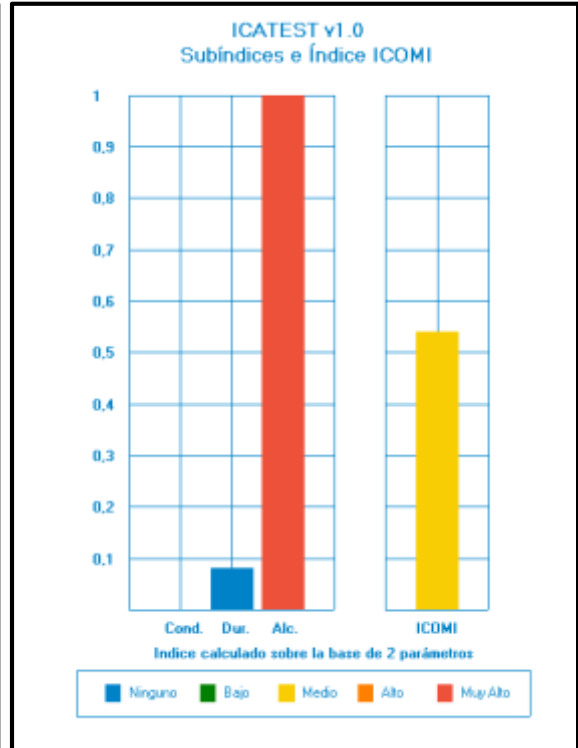
Punto: Vertimiento PTAR – Aguas abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



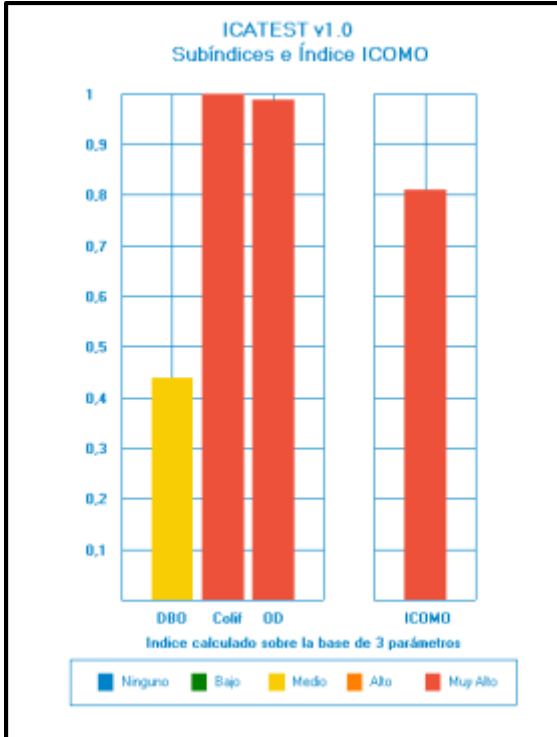
Punto: Vertimiento Santa Marta
Fuente: ICATest V. 1.0



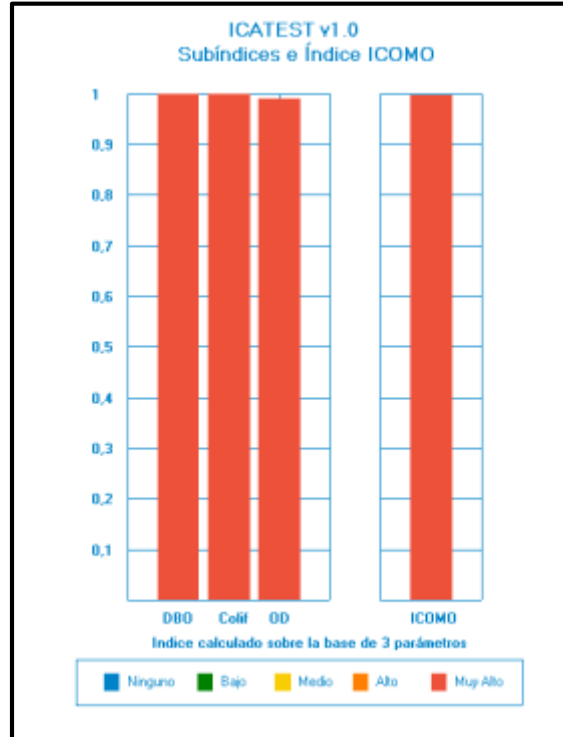
Punto: Vertimiento Cartagena 2 – Aguas abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



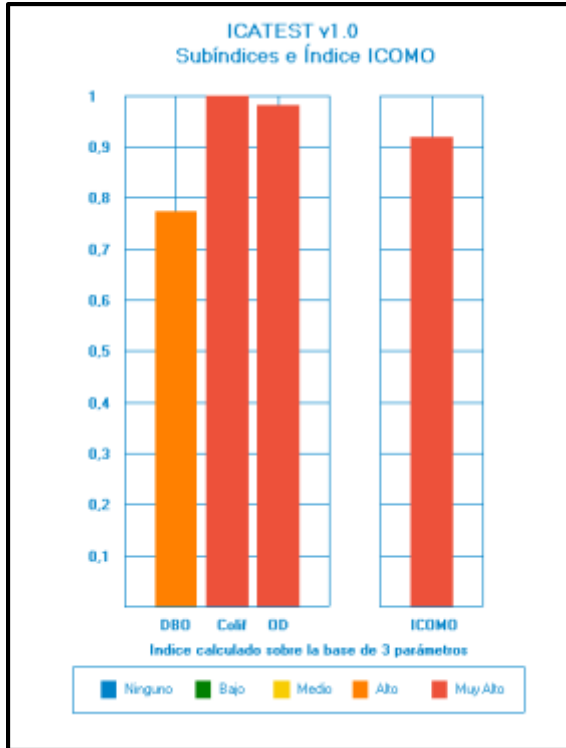
Punto: Vertimiento Cartagena 1 – A. abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



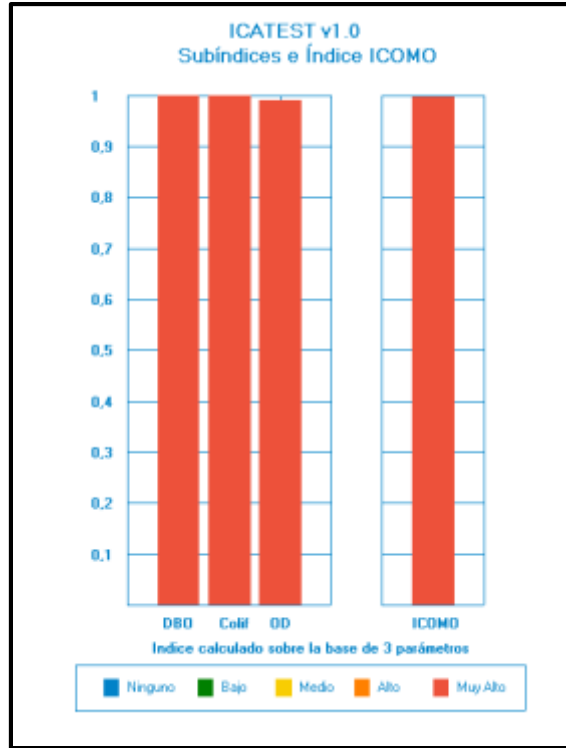
Punto: Vertimiento Arboleda
Fuente: ICATest V. 1.0



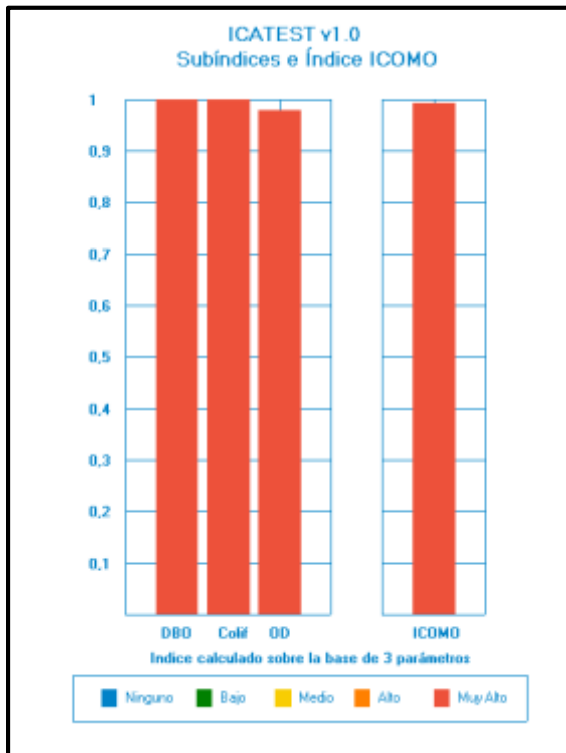
Punto: Vertimiento PTAR
Fuente: ICATest V. 1.0



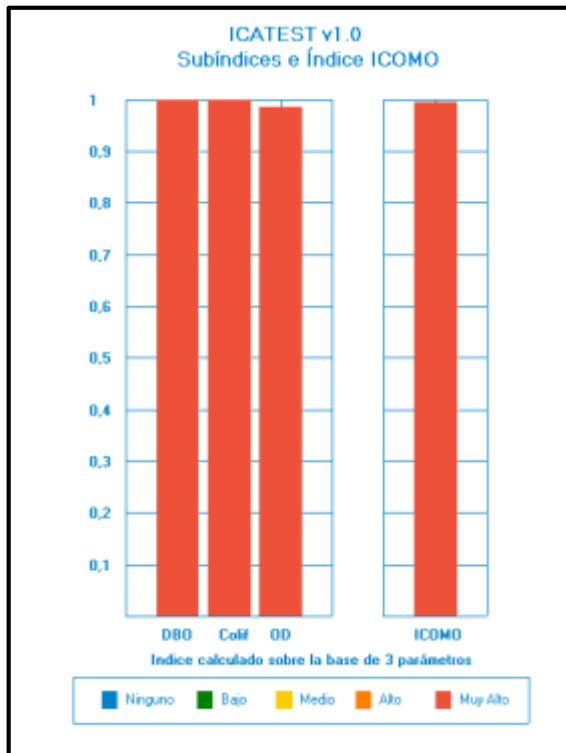
Punto: Vertimiento Cartagenita 1
Fuente: ICATest V. 1.0



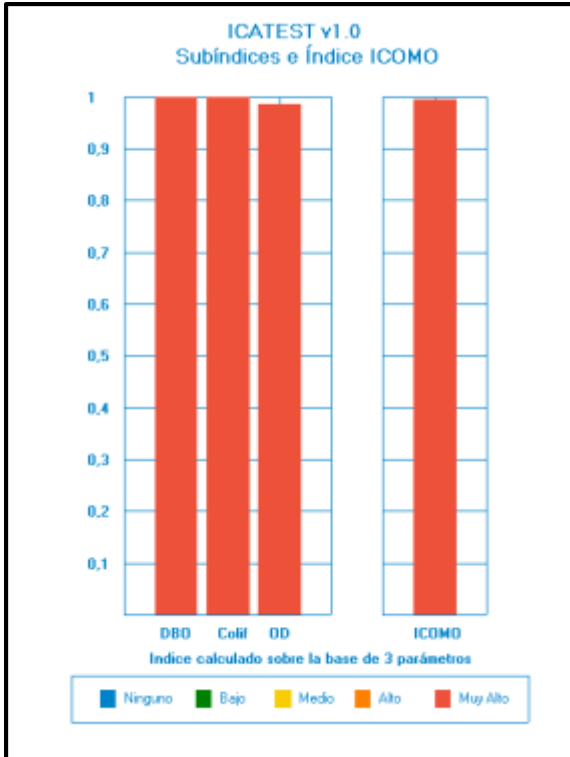
Punto: Vertimiento Arboleda – A. abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



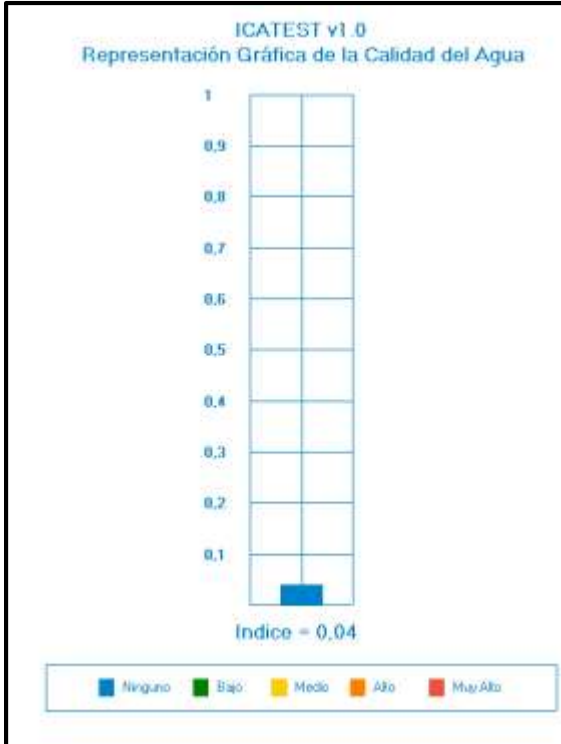
Punto: Vertimiento PTAR – A. abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



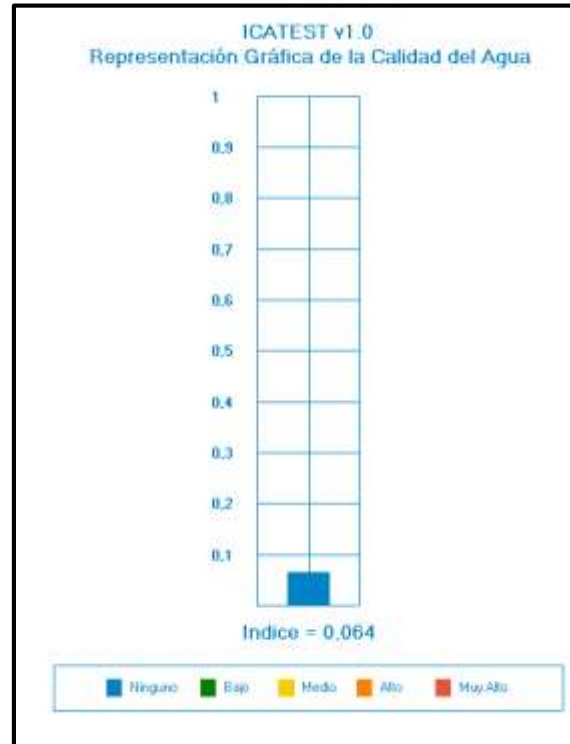
Punto: Vertimiento Santa Marta – A. abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



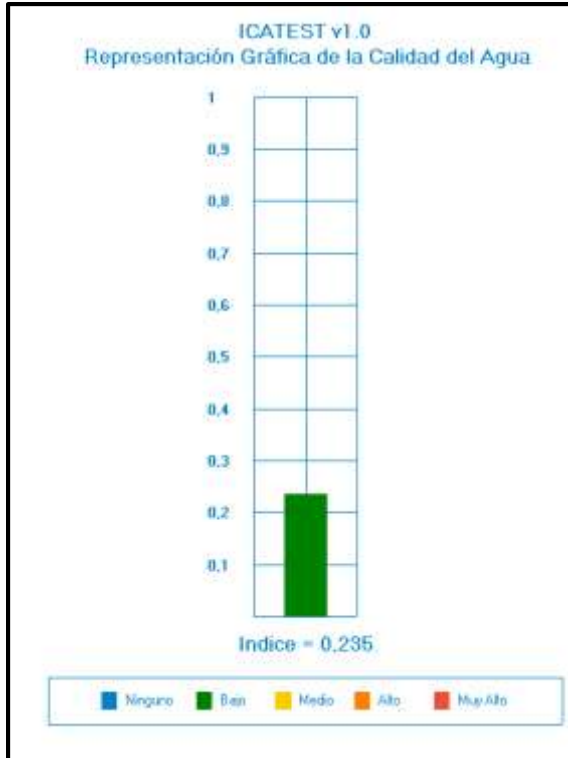
Punto: Vertimiento Cartagena 2
Fuente: ICATest V. 1.0



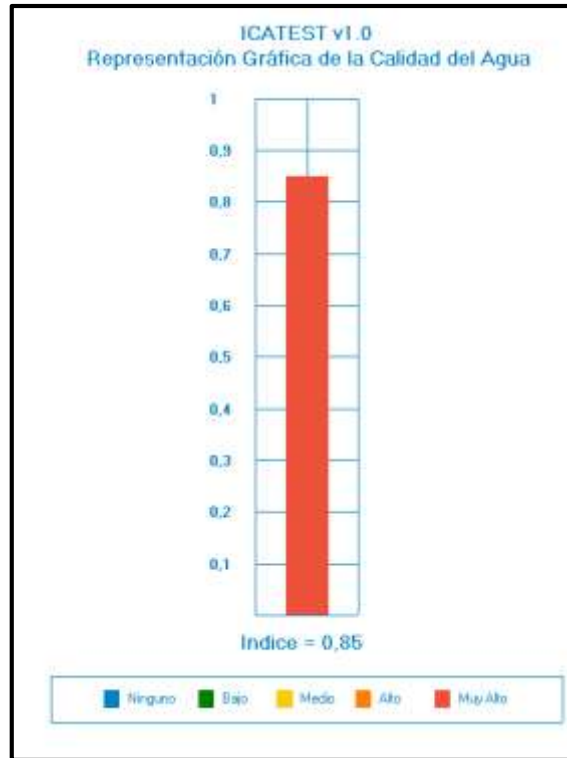
Punto: Vertimiento Arboleda
Fuente: ICATest V. 1.0



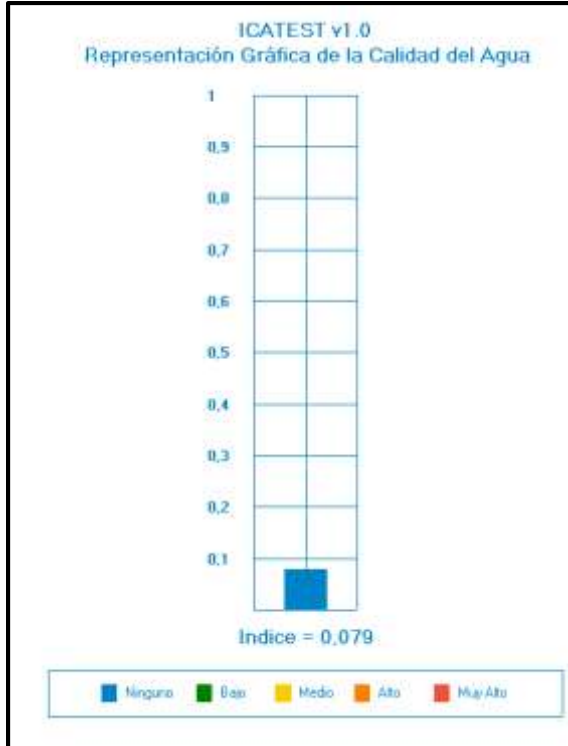
Punto: Vertimiento PTAR
Fuente: ICATest V. 1.0



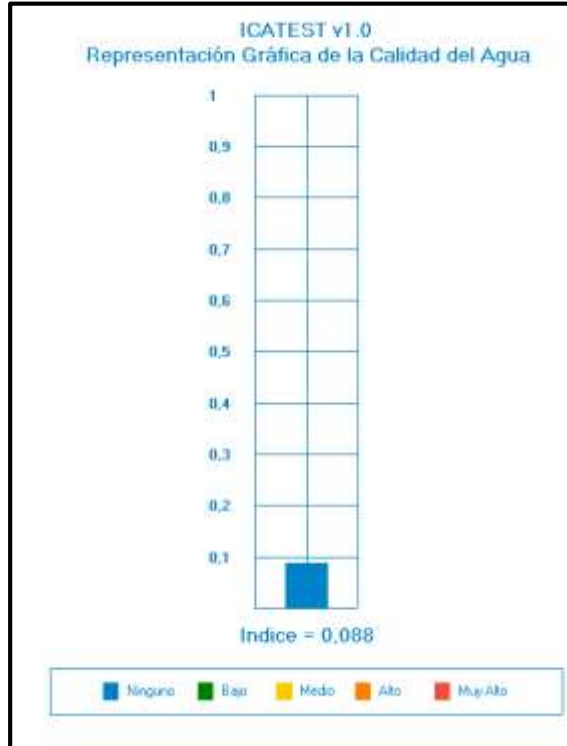
Punto: Vertimiento Cartagenita 1
Fuente: ICATest V. 1.0



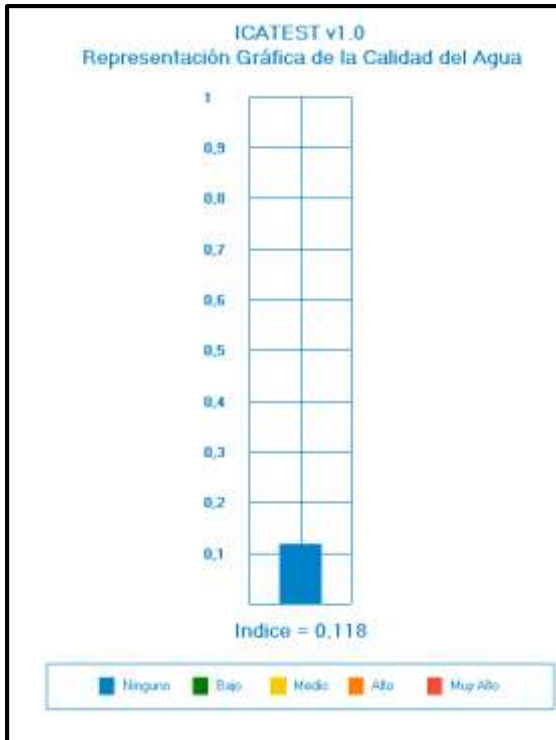
Punto: Vertimiento Arboleda – A. abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



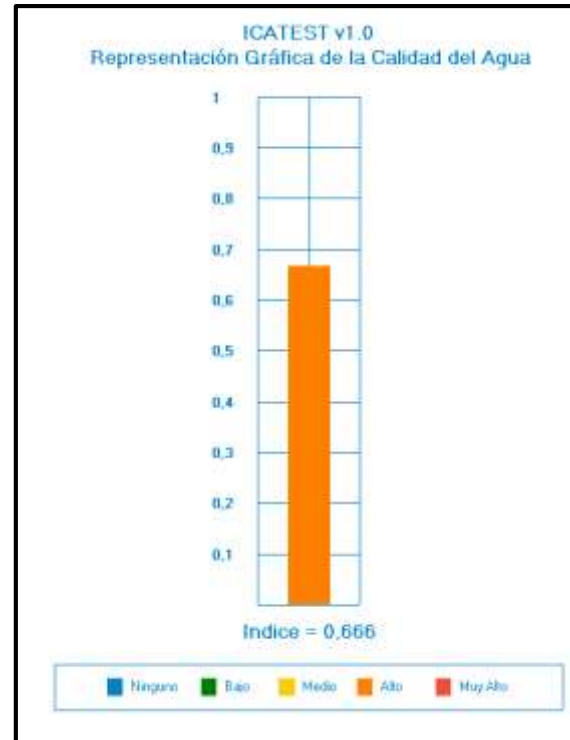
Punto: Vertimiento PTAR – A. abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



Punto: Vertimiento Santa Marta – A. abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



Punto: Vertimiento Cartagenita 2 – A. abajo
Fuente: ICATest V. 1.0



Punto: Vertimiento Cartagenita 1 – A. abajo
Fuente: ICATest V. 1.0