Abreviaciones

CAR	Corporación Autónoma Regional
CF	Coliformes Fecales
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
E1	Escenario 1
E2	Escenario 2
E3	Escenario 3
EAAB	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
EPA	Environmental Protection Agency
EUA	Estados Unidos de América
FAO	Food and Agriculture Organization
NO_3	Nitratos
NO_2	Nitritos
N.R	No se referencia el valor en la fuente bibliográfica consultada
NTK	Nitrógeno Total Kjeldahl
OD	Oxígeno Disuelto
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OMS	Organización Mundial de la Salud
OWQI	Ontario Water Quality Index
PAH	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
PSMV	Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RCHB	Red de Calidad Hídrica
SAAM	Sustancias Activas al Azul de Metileno
SDA	Secretaria Distrital de Ambiente
SIG	Sistema de Información Geográfica
SST	Sólidos Suspendidos Totales
WQI	Water Quality Index

Índice temático

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 10
1. Casos de estudios usos de ríos urbanos 10
2. Objetivos de calidad 13
2.1. Australia 13
2.2. Estados Unidos 14
2.3. Unión Europea [Francia] 15
2.4. OECD 16
2.5. OMS 19
2.6. Colombia 19
2.6.1 Decreto 1594 de 1984 19
2.6.2 Acuerdo 043 de 2006 20
2.6.3 Resolución 1813 de 2006 21
3. Definición de usos del agua 22
3.1. Consumo humano y doméstico 22
3.2. Uso agrícola 22
3.3. Uso recreativo 25
3.4. Preservación de flora y fauna 27
3.5. Uso industrial 31
3.6. Otros usos 32
ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS DE CALIDAD EN BOGOTÁ 33
4. Metodología para establecer los Objetivos de Calidad 33
4.1. Objetivos de calidad – 4 años 36
4.1.1 Río Salitre 37
4.1.2 Río Fucha 44
4.1.3 Río Tunjuelo 48

4.1.4 Canal Torca 51
4.2. Objetivos de calidad – 10 años 53
4.3. Objetivos de calidad – 20 y 40 años 59
4.4. Objetivos de calidad - sedimentos 62
4.4.1 Metales pesados 63
4.4.2 Hidrocarburos policíclicos aromáticos 66
4.4.3 Pesticidas organoclorados 68
4.4.4 Policlorobifenilos totales [PCB] 69
5. Objetivos de calidad - Humedales 70
5.1. Revisión bibliográfica 70
5.1.1 Estados Unidos 70
5.1.2 Unión Europea 72
5.1.3 Colombia 72
5.2. Metodología para establecer los Objetivos de Calidad 77
6. Sustancias de interés 88
6.1. Metodología para establecer sustancias de interés 88
6.2. Lista de sustancias de interés 92
7. Objetivos de Calidad – Resolución 100
7.1. Escenarios escogidos - modelación 104
7.2. Resultados - objetivos de calidad 107

Índice de tablas

Tabla 2.1. Clasificación cuerpos de agua según el índice de calidad..... 15

Tabla 2.2. Clasificación cuerpos de agua según la calidad 16

Tabla 2.3. OECD - Usos del agua según la clase 17

Tabla 2. 4 – OECD parámetros de calidad según el uso del recurso hídrico..... 18

Tabla 2.5. Definición de usos del agua de acuerdo al decreto 1594 de 1984 20

Tabla 2.6. Definición de usos del agua de acuerdo al acuerdo 043 de 2006, CAR..... 20

Tabla 2.7. Tramos de ríos en Bogotá según la Resolución 1813 21

Tabla 3.1. Parámetros de calidad para uso del agua en actividades agrícolas 23

Tabla 3.2a. Matriz comparativa de parámetros de calidad para uso agrícola 24

Tabla 3.2b. Matriz comparativa de parámetros de calidad para uso agrícola 25

Tabla 3.3a. Matriz comparativa de parámetros de calidad para uso recreativo..... 26

Tabla 3.3b. Matriz comparativa de parámetros de calidad para uso recreativo..... 27

Tabla 3.4a. Comparación parámetros de calidad para preservación flora y fauna 29

Tabla 3.4b. Comparación parámetros de calidad para preservación Flora y Fauna 30

Tabla 3.5. Criterios de calidad para uso industrial del agua..... 31

Tabla 4.1. Características de los tramos..... 35

Tabla 4.2. Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Salitre [Tramo 1]38

Tabla 4.3. Comparación RCHB y modelo – Salitre [Tramo 1] 40

Tabla 4.4. Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Salitre [Tramo 2]40

Tabla 4.5. Comparación RCHB y modelo – Salitre [Tramo 2] 42

Tabla 4.6. Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Salitre [Tramo3] 42

Tabla 4.7. Comparación RCHB y modelo – Salitre [Tramo 3] 43

Tabla 4.8. Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Salitre [Tramo 4]44

Tabla 4.9. Comparación RCHB y modelo – Salitre [Tramo 4] 44

Tabla 4.10 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Fucha [Tramo 1]45

Tabla 4.11. Comparación RCHB y modelo – Fucha [Tramo 1] 45

Tabla 4.12 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Fucha [Tramo 2]45

Tabla 4.13. Comparación RCHB y modelo – Fucha [Tramo 2] 46

Tabla 4.14 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Fucha [Tramo 3]46

Tabla 4.15. Comparación RCHB y modelo – Fucha [Tramo 3] 47

Tabla 4.16 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Fucha [Tramo 4]47

Tabla 4.17. Comparación RCHB y modelo – Fucha [Tramo 4] 47

Tabla 4.18. Resumen de porcentaje que superan la propuesta – Tunjuelo [Tramo 1] 48

Tabla 4.19. Comparación RCHB y modelo – Tunjuelo [Tramo 1] 48

Tabla 4.20. Resumen de porcentaje e superan la propuesta – Tunjuelo [Tramo 2]..... 49

Tabla 4.21. Comparación RCHB y modelo – Tunjuelo [Tramo 2] 49

Tabla 4.22. Resumen de porcentaje que superan la propuesta – Tunjuelo [Tramo 3] 50

Tabla 4.23. Comparación RCHB y modelo – Tunjuelo [Tramo 3] 50

Tabla 4.24. Resumen de porcentaje que superan la propuesta – Tunjuelo [Tramo 4] 50

Tabla 4.25. Comparación RCHB y modelo – Tunjuelo [Tramo 4] 51

Tabla 4.26. Objetivos de calidad – 4 años..... 52

Tabla 4.27. Cálculo de balances de masas – objetivos de calidad 10 años 56

Tabla 4.28. Objetivos de calidad – 10 años 58

Tabla 4.29. Objetivos de calidad y justificación – 20 años 60

Tabla 4.30. Objetivos de calidad – 40 años 61

Tabla 4.31. Calidad de sedimentos en el Río Salitre [Transversal 91] 63

Tabla 4.32. Propuesta de objetivo de calidad para metales pesados en sedimentos 64

Tabla 4.33. Propuesta de objetivos de calidad para PAH 67

Tabla 4.34. Propuestas de objetivos de calidad para pesticidas organoclorados y PCBs 68

Tabla 5.1. Estudios de monitoreo en humedales 1995-2004 77

Tabla 5.2. Estudios de monitoreo en humedales 2004-2007 78

Tabla 5.3. Parámetros recomendados para monitorear entrada y salida humedales 85

Tabla 5.4. Puntos y características de monitoreo entrada, salida y dentro del humedal 86

Tabla 6.1. Lista de sustancia de interés discriminadas del decreto 1593 de 1984 91

Tabla 6.2. Lista de sustancia de interés - norma de vertimiento 91

Tabla 6.3. Propuesta de sustancias de interés parte 1 93

Tabla 6.4. Propuesta de sustancias de interés parte 2 94

Tabla 6.5. Propuesta de sustancias de interés parte 3 95

Tabla 6.6. Propuesta de sustancias de interés parte 4 96

Tabla 6.7. Propuesta de sustancias de interés parte 5 97

Tabla 6.8. Propuesta de sustancias de interés parte 6 98

Tabla 7.2. Propuesta de objetivos de calidad a 4 años - Resolución 101

Tabla 7.3. Propuesta inicial de objetivos de calidad a 4 años – Resolución 102

Tabla 7.4. Propuesta inicial de objetivos de calidad a 10 años - Resolución 102

Tabla 7.5. Descripción escenarios de modelación 103

Tabla 7.6. Resumen – Escenarios modelación 103

Tabla 7.7. Escenarios escogidos - modelación 104

Tabla 7.8. Propuesta Tramo 1 – Río Fucha 108

Tabla 7.9. Propuesta Tramo 2 – Río Fucha 108

Tabla 7.10. Propuesta Tramo 3 – Río Fucha 109

Tabla 7.11. Propuesta Tramo 4 – Río Fucha 109

Tabla 7.12. Propuesta Tramo 1 – Río Salitre 110

Tabla 7.13. Propuesta Tramo 2 – Río Salitre 111

Tabla 7.14. Propuesta Tramo 3 – Río Salitre 111

Tabla 7.15. Propuesta Tramo 1 – Río Tunjuelo 112

Tabla 7.16. Propuesta Tramo 2 – Río Tunjuelo 113

Tabla 7.17. Propuesta Tramo 3 – Río Tunjuelo 113

Tabla 7.18. Propuesta Tramo 4 – Río Tunjuelo 114

Tabla 7.19. Propuesta Tramo 1 – Canal Torca 115

Tabla 7.20. Propuesta Tramo 2 – Canal Torca 115

Tabla 7.21. Objetivos de Calidad – 4 años 116

Tabla 7.22. Objetivos de Calidad – 10 años 116

Tabla 7.23. Lista de sustancias prioritarias 120

Tabla 8.1. Frecuencia de monitoreo – objetivos de calidad 121

Tabla 9.1. Cálculo del WQI para RCHB 126

Índice de gráficas

Gráfica. 4.1. Valores históricos de Cr_{total} – Salitre [Tramo 1] 39

Gráfica. 4.2. Valores históricos de Pb – Salitre [Tramo 1] 39

Gráfica. 4.3. Valores históricos de Grasas y aceites – Salitre [Tramo 2] 41

Gráfica. 4.4. Valores históricos de Coliformes totales – Salitre [Tramo 2] 41

Gráfica. 4.5. Valores históricos de Fenoles – Salitre [Tramo 3] 43

Gráfica 5.1. Valores de DBO de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad 80

Gráfica 5.2. Valores de DQO de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad 81

Gráfica 5.3. Valores de coliformes fecales en algunos humedales de la ciudad 81

Gráfica 5.4. Valores de Nitrato de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad 82

Gráfica 5.5. Valores de NTK de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad 82

Gráfica 5.6. Valores de OD de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad 83

Gráfica 5.7. Valores de pH de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad 83

Gráfica 5.8. Valores de SAAM de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad 84

Gráfica 5.9. Valores de SST de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad 84

Índice de figuras

Figura. 4.1. Conceptualización del balance de masa 53

Figura 4.2. Esquema de las estaciones fijas de la RCHB..... 54

Figura 9.1. Diagrama de Zona de Mezcla 128

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. CASOS DE ESTUDIOS USOS DE RÍOS URBANOS

Para el establecimiento de los objetivos de calidad para los cuerpos de agua en Bogotá se revisaron casos de estudio de ríos urbanos a nivel mundial. Se encontró que debido a la alta degradación de los ecosistemas acuáticos, el uso de muchos de estos cuerpos ha sido enfocado esencialmente hacia estético e industrial en procesos de generación de energía. En Europa se han implementado programas para la restauración de los ríos y sus ecosistemas. Algunos casos han sido exitosos, restaurando los ríos a tal punto que se han encontrado organismos acuáticos, como en el río Sena; sin embargo en muchos casos la degradación de los cuerpos es tal que ha afectado la recuperación ecológica del cuerpo de agua.

A continuación, se describen diferentes casos de ríos urbanos, su problemática y los planes de acción que se han implementado, los éxitos que se han tenido y los retos que aún faltan para recuperar los ecosistemas acuáticos. Estos casos de estudio han sido referenciados en el reporte de la **UNESCO, World Water Development Report [2006].**

- Río Danubio: es el río más importante del centro de Europa, con una longitud de 2857 km, drena un área aproximada de 817,000 km^2 y atraviesa más de 10 países. El principal uso de este río es para la generación de energía y navegación. Las principales fuentes de contaminación son las industrias de alimentos, química y de producción de pulpa y papel, cuyos vertimientos han aumentado la presencia de metales pesados y sustancias orgánicas en el río. Desde 1992 se ratificó el Convenio para la Protección del río Danubio, **The Danube River Protection Convention**, con el objetivo de recuperar y mejorar el estatus

del recurso hídrico en calidad y cantidad. A través del convenio se han implementado diversos programas: para protección del ecosistema, de monitoreo y reducción de vertimientos.

Actualmente, este río es clasificado como un cuerpo de agua contaminado moderadamente. Los principales problemas de contaminación que se han identificado en este cuerpo de agua son:

- Contaminación microbiológica, debido a descargas de fuentes domésticas
- Eutroficación
- Contaminación con sustancias peligrosas, principalmente hidrocarburos aromáticos y pesticidas

- Río Rhin: tiene una longitud de 1320 km. y un área de drenaje de 185,000 km². Este cuerpo de agua es usado para generación de energía, actividades recreativas y disposición de aguas residuales. La calidad del agua se ha mejorado desde 1970, como consecuencia de la gestión del convenio, **International Commission for the protection of the Rhine.** Desde 1990 en algunas zonas del río se han evidenciado el retorno y migración del salmón. Sin embargo el río Rhin sigue presentando problemas de contaminación por las altas concentraciones de metales pesados en los sedimentos y compuestos orgánicos [PCB, hexaclorobenceno y lindano] que afectan la calidad del río. A través del programa **Rhine 2020 - Program on the susitanable development of the Rhine,** para el 2020, se quiere que el cuerpo de agua retorne a una calidad de agua buena, con un ecosistema recuperado y sostenible.

- Río Sena: 40 años atrás este río fue declarado como muerto. Los niveles de contaminación por parte de las industrias y actividades agrícolas afectaron negativamente la calidad del agua. En las últimas décadas el río se ha venido rehabilitando. Un resultado de esta rehabilitación son las actividades de pesca que se organizan en las ciudades [p.e. en Paris], como consecuencia de la presencia de organismos acuáticos. Esto se ha logrado por la creación de seis [6] agencias ambientales que han administrado este río con el objetivo de recuperarlo. Sin embargo, este cuerpo de agua aún presenta problemas, tales como altas

concentraciones de nitratos provenientes de los fertilizantes, concentraciones alarmantes de PCB, fosfatos y metales pesados en áreas de vertimientos.

2. OBJETIVOS DE CALIDAD

Para el establecimiento de los objetivos de calidad de los ríos en Bogotá, se realizó una revisión bibliográfica de los usos del recurso hídrico en diferentes países [Francia, Canadá, Estados Unidos y Australia], organizaciones internacionales [OECD y OMS] y normatividad nacional.

2.1. Australia

El Consejo de Medio Ambiente y Conservación y el Consejo de Agricultura y Gestión de recursos de Australia y Nueva Zelanda, **Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council**, han establecido la guía para el desarrollo e implementación de objetivos de calidad, **Australian and New Zeland Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, 2000**. Esta guía fija los objetivos de calidad requeridos para conservar el uso actual o futuro de los recursos hídricos en Australia y Nueva Zelanda, bajo el principio de desarrollo sostenible. En este informe se analizaron los valores establecidos para uso recreacional, irrigación y protección de los ecosistemas acuáticos [ver Anexo 2.1].

El uso recreacional del agua considera valores para: características microbiológicas, organismos que causan molestias [macrófitas, fitoplancton, algas, hongos y sanguijuelas] y características físicas y químicas [pH, temperatura, químicos tóxicos y películas superficiales]. Las concentraciones máximas dependen del tipo de recreación:

- Contacto directo: deportes como natación y surf
- Contacto indirecto: deportes como navegación y pesca
- Recreación pasiva: cuando no hay contacto con el agua

Para la utilización del recurso hídrico en actividades de irrigación, se establecen parámetros de calidad con el objetivo de mantener la productividad de las tierras agrícolas y al mismo tiempo proteger los recursos hídricos. La guía incluye valores para salinidad, parámetros biológicos,

inorgánicos [iones, metales pesados y nutrientes] y pesticidas. Para los parámetros inorgánicos, existen dos concentraciones máximas, estas dependen del periodo de tiempo durante el cual se irrigará la tierra, largo-plazo [LTV] corresponde a un periodo de 100 años y corto-plazo [STV] de 20 años.

Para la protección de los ecosistemas acuáticos, la guía presenta indicadores de calidad que protegen el bienestar ecológico, estos son:

- biológicos [algas, macrófitas, microinvertebrados y peces]
- físico-químicos [nutrientes, materia orgánica, oxígeno disuelto, turbiedad, pH, etc.]
- tóxicos [metales, hidrocarburos aromáticos, pesticidas, herbicidas]

Los valores de estos indicadores tienen diferentes niveles de protección para cada cuerpo de agua, ya que pueden ser sistemas de alta conservación, ligera, modera o altamente perturbados. El nivel de protección en los ecosistemas acuáticos moderadamente perturbados es usualmente del 95%, es decir que el 95% de las especies estarían protegidas. Para los sistemas de alta conservación, se aplica un nivel de protección del 99%. Igualmente se fijan objetivos de calidad para sedimentos los cuales son hábitat, fuente de alimento o refugio para comunidades biológicas y pueden actuar como fuente de contaminantes para los organismos bénticos afectando la cadena alimenticia acuática.

2.2. Estados Unidos

En Estados Unidos [EUA] cada estado establece los objetivos de calidad para sus cuerpos de agua. La EPA tiene una base de datos que contiene información por estados sobre los estándares de calidad según el uso del agua actual y futuro. Se revisó la regulación de calidad del Río Potomac en Washington D.C. con el fin de conocer los valores y parámetros regulados en este río urbano.

Los usos del Río Potomac actualmente son: uso estético y recreacional con contacto secundario [Clase B], protección y propagación de peces, mariscos y fauna [Clase C], protección de la vida

humana en relación con el consumo de peces y mariscos [Clase D] y navegación [Clase E]. En un futuro se busca darle un uso recreacional con contacto directo [Clase A]. Los estándares de calidad se encuentran en el Anexo 2.2.

2.3. Unión Europea [Francia]

La Unión Europea a través Directiva 2000/60/CE de 2000 establece un marco comunitario en el ámbito de la política de aguas. Esta directiva tiene como objetivo prevenir el deterioro, mejorar y restaurar el estado de los cuerpos de agua superficial, para de esta forma lograr que tengan buen estado químico y ecológico. Cada país miembro ha implementado programas para clasificar los cuerpos de agua según su estado para su futura recuperación.

En Francia el Ministerio de Medio Ambiente, **Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables** y las Agencias del Agua han establecido un Sistema de Evaluación de la Calidad del Agua, **SEQ-Eau,** cuyo principio es evaluar los cuerpos de agua según la calidad físico-químico, biológica o según los usos. SEQ-Eau establece las clases e índices de calidad teniendo en cuenta la legislación francesa y europea, las recomendaciones de la OMS y de la EPA, los análisis técnicos y científicos, las bases de datos y revisión bibliográfica [ver Tablas 2.1 y 2.2].

Tabla 2.1. Clasificación cuerpos de agua según el índice de calidad

Clase	Índice de calidad	Definición de la clase de calidad
Azul	80 – 100	Calidad del agua muy buena
Verde	60 – 79	Calidad del agua buena
Amarillo	40 – 59	Calidad del agua media
Anaranjado	20 – 39	Calidad del agua mediocre
Rojo	0 – 19	Calidad del agua mala

Tabla 2.2. Clasificación cuerpos de agua según la calidad

Uso	Clase				
	Azul	**Verde**	**Amarillo**	**Anaranjado**	**Rojo**
Equilibrio biológico	Todos los taxones presentes	Ausencia de taxones sensibles	Ausencia de varios taxones	Baja diversidad	Diversidad muy baja
Agua potable	Aceptable	Tratamiento simple	Tratamiento clásico	Tratamiento complejo	No apto
Recreación	Optimo		Aceptable		No apto
Irrigación	Plantas muy sensibles/todos los suelos	Plantas sensibles/todos los suelos	Plantas tolerantes/suelos neutros o alcalinos	Plantas muy tolerantes/suelos neutros o alcalinos	No apto
Pecuario	Todos los animales		Animales maduros		No apto

En Francia se regulan alrededor de 156 parámetros reagrupados en 15 índices: materia orgánica y oxidable, materia nitrogenada, nitratos, materia fosforada, sólidos en suspensión, color, temperatura, mineralización [parámetros que modifican la salinidad del agua], acidificación, fitoplancton, microorganismos, metales [en plantas], micro-contaminantes minerales, pesticidas y micro-contaminantes orgánicos. En el Anexo 2.3 se encuentran los valores de los objetivos de calidad de acuerdo a los usos y la clase.

2.4. OECD

A través del documento **Proposed System of Surface Water Quality Standards for Moldova, 2007** publicado por la OECD, este organismo propone dividir los usos del agua en 5 clases:

- Clase I: los cuerpos de agua presentan un alto nivel de calidad, presenta ecosistemas acuáticos naturales. Todos los usos
- Clase II: el agua puede ser apta para consumo humano, después de un tratamiento simple. Todos los usos
- Clase III: condiciones requeridas para la protección y producción de peces tales como salmón, trucha y pescado blanco. Puede existir deterioro en el ecosistema acuático.

- Clase IV: se requiere tratamiento intensivo para que el agua sea apta para consumo humano. Pueden existir las condiciones necesarias para la protección, sostenimiento y crecimiento de peces tales como la carpa.
- Clase V: la calidad del agua es de bajo estatus, se puede utilizar para generación de energía.

En la Tabla 2.3 se describe de una manera más específica el uso o función que se le puede dar a cada clase.

Tabla 2.3. OECD - Usos del agua según la clase

USO-FUNCIÓN	Diferenciación del uso	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Función ecosistema		√	√	-	-	-
Protección peces/ reproducción	Salmón	√	√	-	-	-
	Carpa	√	√	√	-	-
Calidad de agua potable	Tratamiento. simple	√	√	-	-	-
	Tratamiento normal				√	-
	Tratamiento intensivo					
Baño/ recreación		√	√	√	-	-
Irrigación		√	√	√	√	-
Usos industrial [procesos y enfriamiento]		√	√	√	√	-
Generación de energía		√	√	√	√	√
Extracción minera		√	√	√	√	√
Transporte		√	√	√	√	√

Fuente: Proposed System of surface water quality standards for Moldova, OECD [2007]

La OECD ha identificado parámetros críticos que se deben regular en los cuerpos de agua según el uso que se les vaya a dar, ya que estas condiciones pueden afectar directa o indirectamente la

calidad del agua. En la Tabla 2.4 se muestran por clase que parámetros se debe regulan para mantener las condiciones óptimas de calidad del uso del agua.

Tabla 2. 4 – OECD parámetros de calidad según el uso del recurso hídrico

CONDICIONES GENERALES	**USO**						
	Parámetros específicos	**Clase I**	**Clase II**	**Clase III [Agua potable]**	**Clase III**	**Clase IV**	**Clase V**
Condiciones termales	Temperatura del agua	O	X			O	
Condiciones de oxigenación	O2, DBO_5	X	X				
	DQO			X			
Condición de nutrientes	P-PO_4, NO_3, N_{total}	X	O	O	O		O
	NH_4	O	X				
	NO_2	O	O	O			
Salinidad	Mineralización total, cloruros, sulfatos			O		X	O
Status de acidificación	pH	O	O	O		O	
Otros parámetros	Olor, color, material flotante	O	O	X	X		
	Mn, Fe, Fenoles, grasas y aceites		O	X			
Metales traza	Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	X	X	X			
Condiciones bacteriológicas	Varios			X	X		
Sustancias prioritarias	Varios	X	O	X/O			
Otros contaminantes específicos	Varios	X	O	X/O			
X: Influye directamente en el uso del río O: Influye indirectamente en el uso del río							

En el Anexo 2.4 se presentan los parámetros y los valores que la OECD propone para regular en cada clase.

2.5. OMS

La Organización Mundial de la Salud [OMS] en su guía **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition [**1996] propone diferentes usos del agua y para cada uso establece requerimientos que se deben incluir en un programa de seguimiento para alcanzar los estándares de calidad de la OMS. Los usos del agua que se le puede dar a un cuerpo de agua son: protección de la vida acuática y pesca, suministro de agua potable, recreación y salud y para actividades industriales.

La OMS establece criterios de calidad por usos del recurso hídrico, determinando parámetros prioritarios que deben regularse, ya que en concentraciones bajas o altas afectan la calidad del uso. En el Anexo 2.5 se muestran los parámetros sugeridos por la OMS si el recurso hídrico es utilizado para actividades agrícolas, de recreación, suministro de agua potable y protección de la vida acuática

2.6. Colombia

2.6.1 Decreto 1594 de 1984

Este decreto es una guía nacional que se utiliza para la asignación de usos a los cuerpos de agua y determinación de las características del agua para cada uso. Esta norma establece que para el aprovechamiento del recurso hídrico en Colombia se pueden asignar los usos y actividades que se describen en la Tabla 2.5. Estos usos están ligados a criterios de calidad que debe tener el recurso hídrico si se va usar en alguna de las actividades que se muestran en la tabla. En el Anexo 2.6 se muestran los criterios de calidad para los diferentes usos.

Tabla 2.5. Definición de usos del agua de acuerdo al decreto 1594 de 1984

USO	ACTIVIDADES
Consumo humanos y doméstico	-Higiene personal, limpieza de alimentos, materiales o utensilios -Fabricación y procesamiento de alimentos -Fabricación o procesamiento de productos químicos, tales como droga, medicamentos, cosméticos y aditivos
Preservación de flora y fauna	-Mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres - Actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.
Agrícola	-Irrigación -Generación de energía -Minería
Pecuario	Consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales
Recreación	-Contacto primario, como en la natación y el buceo -Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca
Transporte	-Navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales por contacto directo

2.6.2 Acuerdo 043 de 2006

A nivel regional, la Corporación Autónoma Regional [CAR] establece, a través del Acuerdo 043 de 2006, los usos del agua para el Río Bogotá y criterios de calidad. Los usos son divididos en clases [ver Tabla 2.6]:

Tabla 2.6 Definición de usos del agua de acuerdo al acuerdo 043 de 2006, CAR

CLASE	DESCRIPCIÓN
I	Consumo humano y domestico con tratamiento convencional -Preservación de flora y fauna Uso agrícola - Uso pecuario
II	Consumo humano y doméstico con tratamiento convencional-Uso agrícola con restricciones-Uso pecuario
III	-Embalses, lagunas, humedales y demás cuerpos lénticos
IV	Uso agrícola con restricción - Uso pecuario
V	Generación de energía -Uso industrial

En el Anexo 2.7 se presentan los valores de los objetivos de calidad para cada clase de uso del agua. La CAR ha clasificado los parámetros en orgánicos y bacteriológicos, nutrientes y de interés sanitario.

2.6.3 Resolución 1813 de 2006

A nivel local la Resolución 1813 expedida por el Departamento Administrativo del Medio Ambiente [DAMA] establece los usos y objetivos de calidad de los cuerpos de agua dentro del perímetro urbano de Bogotá para el 2011.

En esta norma se asigna uso estético para los humedales, los criterios de calidad para este uso son los reglamentados en el Decreto 1594 de 1984 para este uso. Para los ríos Fucha, Torca, Tunjuelo y Salitre se establecen un uso de asimilación y dilución [artículo primero, Resolución 1813 de 2006], los criterios de calidad son determinados para cada tramo de cada río [ver Tabla 2.7] y son: DBO, SST, OD, pH, temperatura, sólidos flotantes y olores agresivos. En el Anexo 2.8 se pueden ver los criterios y los valores de los objetivos de calidad.

Tabla 2.7. Tramos de ríos en Bogotá según la Resolución 1813

Cuenca	Tramo	Límites	
		Desde	Hasta
Río Tunjuelo	1	Entrada perímetro urbano	Desembocadura Quebrada Yomasa
	2	Desembocadura Q. Yomasa	Avenida Boyacá
	3	Avenida Boyacá	Autopista Sur
	4	Autopista Sur	Desembocadura Río Tunjuelo
Río Fucha	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª
	2	Carrera 7ª	Desembocadura Canal Comuneros
	3	Desembocadura Canal Comuneros	Avenida Boyacá
	4	Avenida Boyacá	Desembocadura Río Fucha
Río Salitre	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª
	2	Carrera 7ª	Carrera 30
	3	Carrera 30	Avenida 68
	4	Avenida 68	Desembocadura Río Juan Amarillo
Canal Torca	1	Entrada jurisdicción DAMA	Salida jurisdicción DAMA

Referencia: Resolución 1813 de 2006

3. DEFINICIÓN DE USOS DEL AGUA

De acuerdo al Decreto 1594 de 1984 y el Acuerdo 043 de 2006, los usos que se pueden asignar a un cuerpo de agua en Colombia se describen a continuación.

3.1. Consumo humano y doméstico

Dentro de esta categoría se encuentran las actividades de higiene personal y aseo doméstico. Los criterios de calidad definidos son establecidos con el fin de proteger la salud humana. Este uso se puede dividir, de acuerdo a la OECD, según el tratamiento del agua [simple, normal o intensivo] para que sea apta para consumo humano.

3.2. Uso agrícola

Dentro de esta categoría se puede considerar la irrigación. En algunos países, como Australia, establecen este uso del agua para actividades de acuacultura, consumo de productos acuáticos y pescadería comercial. Dentro de este uso se puede clasificar el uso para ganadería [OMS] donde la calidad del agua puede afectarse por los altos niveles de sólidos suspendidos y salinidad. En el acuerdo 043 se clasifica el uso agrícola en dos categorías, la clase I que hace referencia a uso agrícola sin restricción y la clase II que hace referencia a uso agrícola con restricción, es decir si el riego se hace sobre frutas que tienen cáscara.

Los criterios de calidad para aguas de uso agrícola son establecidos con el fin de proteger la planta y el suelo, como a los consumidores. La presencia de ciertos iones inorgánicos pueden afectar la calidad del suelo, y por la tanto el crecimiento de la planta. Según la Organización Mundial para la Alimentación y Agricultura [FAO], existen parámetros con características físicas y químicas que indican la calidad del agua para uso agrícola. Dentro de estos parámetros se encuentran pH, salinidad, elementos traza y metales pesados [ver Tabla 3.1]. En el Anexo 3.1 se muestran los valores sugeridos por la FAO de estos parámetros.

Tabla 3.1. Parámetros de calidad para uso del agua en actividades agrícolas

Característica	Parámetro	Justificación
Elementos traza	Aluminio	En suelos ácidos [pH<5.5] puede producir esterilidad en el suelo, para suelos alcalinos pH>7, precipitará el ion y eliminará cualquier toxicidad
	Arsénico	Toxicidad en las plantas varían dependiendo de la especie [0,05 mg/l arroz-12 mg/l Planta sudan]
	Berilio	Toxicidad en las plantas varían dependiendo de la especie [0,5 mg/l -5mg/l]
	Boro	Concentraciones de de 1 a 2 mg/l es toxico para la planta
	Cadmio	Se recomiendan valores conservativos debido al potencial de acumulación en plantas y suelos en cantidades que pueden ser peligrosas para los humanos. Es toxico en concentraciones muy bajas 0,1 mg/l para la remolacha, frijoles
	Cobalto	Este compuesto tiende a hacer inactivo en suelos neutrales y alcalinos. Toxico en las plantas de tiene en solución de nutrientes 0,1 mg/l
	Cromo	Limites conservativos debido a la falta de conocimiento de los efectos en las plantas
	Cobre	Es toxico en un numero de plantas de 0,1 a 1mg/l en solución de nutrientes
	Flúor	Inactivado en suelos neutrales o alcalinos
	Hierro	Es no toxico para las plantas en suelos aireados, pero puede contribuir en la acidificación del suelo y perdida de la viabilidad de compuestos como fósforo y molibdeno
	Litio	Este compuesto actúa igual que el Boro. Es toxico en cítrico en bajas concentraciones
	Manganeso	Toxico en un numero de granos, pero usualmente en suelos ácidos
	Molibdeno	Es no toxico en plantas en concentraciones normales en suelo y agua. Puede ser toxico para ganadería en concentraciones altas en el suelo
	Níquel	Es toxico en un numerosas plantas en concentraciones de 0.5-1 mg/l; la toxicidad puede ser reducida en pH alcalinos o neutral
	Plomo	Puede inhibir el crecimiento de las plantas a concentraciones altas
	Selenio	Toxico en las plantas a concentraciones muy bajas. En concentraciones muy altas de Selenio es toxico para la ganadería
	Vanadio	Toxico para las plantas en concentraciones bajas
	Zinc	Toxico en una variedad de plantas, su toxicidad es reducida en pH>6
Indicador biológico	Población bacteria	Puede obstruir el sistema de riego
Químicos	pH	En niveles muy bajos [<4,5] presenta agresividad en el concreto
Nutrientes	Sólidos disueltos	Puede obstruir el sistema de riego
	Sulfuro de hidrogeno	En concentraciones > 0,2 puede presentar obstrucciones al sistema de riego
	Amonio	En concentraciones > 60 mg/l presenta agresividad en el concreto
Salinidad	Cloruros	Es absorbida y transportada por la planta, se acumula en las hojas, produce Necrosis[1] y defoliación [2]
	Sodio	Toxico para las plantas, al producir muerte en los tejidos
	Sólidos disueltos	Puede obstruir el sistema de riego
	Sulfatos	En concentraciones > 200 mg/l presenta agresividad en el concreto

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se diseñó una tabla comparativa de parámetros a regular si el recurso hídrico es usado en actividades agrícolas, con el fin de que sirva como

referencia para establecer los objetivos de calidad en Bogotá. En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 3.2a. Matriz comparativa de parámetros de calidad para uso agrícola

Características	Objetivos de calidad para uso agrícola							
	Australia	**UE [Francia]**	**FAO**	**OMS**	**OECD**	**Decreto 1594 de 1984**	**Acuerdo 043**	**Propuesta Uniandes**
Elementos traza e inorgánicos								
Cd, Cu. Hg, Ni, Pb, Zi	√	√	√	√	√	√	√	√
Be, Fe, Mn, Co, Mb, V	√		√			√	√[2]	√
Aluminio	√		√					√
As y Se	√	√	√	√		√		√
Cianuro								√
Flúor	√				√			√
Cromo total		√	√					√
Cromo 6+	√					√		√
Generales								
Aceites y grasas					√			√
Partículas es suspensión								
Turbiedad			√					
SST	√	√	√	√				√
Estatus de acidificación								
pH	√		√	√	√	√		√
Microorganismos			√[1]					
Coliformes totales	√	√		√	√	√	√	
Coliformes fecales	√	√		√	√	√	√	
Patógenos [E. coli, Entrerococo, Estreptococo]				√	√			
Condiciones de oxigenación								
COT								
DBO					√		√	√
DQO					√		√	√
Oxígeno disuelto					√		√	√

Tabla 3.2b. Matriz comparativa de parámetros de calidad para uso agrícola

Características	Objetivos de calidad para uso agrícola							
	Australia	**UE [Francia]**	**FAO**	**OMS**	**OECD**	**Decreto 1594 de 1984**	**Acuerdo 043**	**Propuesta Uniandes**
Condiciones de nutrientes								
NH_4			√		√		√	√
NTK								√
Nitratos			√		√		√	√
Nitritos					√	√	√	√
P_{total}	√		√		√			√
Salinidad								
Calcio			√	√				
Conductividad			√	√				√
Cloruros	√	√	√	√	√			
Sodio	√		√					
Sulfatos			√	√	√		√	
Parámetros orgánicos								
Fenoles				√	√			√
Hidrocarburos y aceites minerales				√				
Pesticidas	√							
Surfactantes							√	√
Otras sustancias prioritarias					√		√[3]	

[1] La FAO regula población bacterial [Num./ml=10000]
[2] El acuerdo 043 no regula Cinc y Hierro
[3] Según el acuerdo 043 Difenil policlorados debe ser no detectable

3.3. Uso recreativo

Según la OMS, se pueden clasificar las actividades de acuerdo al grado de contacto del agua con el cuerpo.

- No contacto: actividades recreacionales en las cuales no existe contacto con el agua, como baños de sol, esta categoría también es conocida como recreación pasiva.
- Contacto indirecto: actividades recreacionales como la pesca, donde se puede sumergir las piernas o puede haber contacto accidental con el agua.
- Contacto directo: actividades recreacionales en las cuales todo el cuerpo o la cara se sumerge, como buceo.

Los criterios de calidad para este uso dependen del tipo de actividad. Sin embargo es necesario que las aguas tengan ciertas características con el objetivo de proteger la salud humana. Para regular la calidad del agua para este uso se debe tener en cuenta las siguientes características:

- Características microbiológicas: estudios epidemiológicos han identificado enfermedades respiratorias y gastrointestinales como resultado de la presencia de microorganismos en los cuerpos de agua para fines recreativos, por lo cual se requiere de indicadores microbiológicos. Generalmente se utiliza como indicadores coliformes fecales y totales, enterococcus y salmonella.
- Características físicas y químicas:
  - pH: aguas alcalinas y ácidas pueden causar irritación en los ojos
  - Visualidad y color para proteger la apariencia estética del cuerpo de agua
  - Sustancias tóxicas que afectan la salud humana al causar irritación o toxicidad en la piel y/o membranas mucosas
  - Grasas y aceites: la presencia de aceites y sustancias petroquímicos pueden crear las aguas no atractivas para uso recreacional.

Tabla 3.3a. Matriz comparativa de parámetros de calidad para uso recreativo

Parámetros	Objetivos de Calidad para Uso recreativo					
	AUSTRALIA	FRANCIA	OMS	OECD	Decreto 1594/1984	Propuesta Uniandes
Elementos traza e inorgánicos						
Cd, Cu. Hg, Ni, Pb, Zi	√		√	√		√
Arsénico y selenio	√					√
Cianuro						√
Flúor [Fluoruros]	√			√		√
Manganeso	√			√		√
Hierro				√		√
Cromo total	√					√
Cromo [6+]						
Generales						
Aceites y grasas	√			√		√
Estatus de acidificación						
pH	√		√	√	√	√
Partículas en suspensión						
SST		√		√		√
Turbiedad			√			
Indicadores de proliferación de plantas						
Clorofila			√			

Acorde con la experiencia internacional, la OMS y la normatividad nacional y la propuesta de Uniandes se generó una matriz comparativa [Tablas 3.3a y 3.3b] de los diferentes parámetros regulados para mantener una calidad del uso hídrico para actividades recreativas.

Tabla 3.3b. Matriz comparativa de parámetros de calidad para uso recreativo

Parámetros	Objetivos de Calidad para Uso recreativo					
	AUSTRALIA	FRANCIA	OMS	OECD	Decreto 1594/1984	Propuesta Uniandes
Microorganismos						
Coliformes totales		√	√	√	√	√
Coliformes fecales		√	√	√	√	√
Patógenos [E. Coli, Entrerococo, Estreptococo]		√	√	√		
Condiciones de oxigenación						
COT			√			
DBO				√		√
DQO				√		√
Oxígeno disuelto	√			√	√	√
Condición de nutrientes						
NH_4	√			√	√	√
NTK						√
Nitratos	√			√	√[1]	√
Nitritos	√			√		√
P_{total}			√	√		√
Salinidad						
Cloruro	√			√		
Sulfatos				√		
Parámetros orgánicos						
Fenoles	√			√	√	√
Pesticidas	√					
Surfactantes			√		√	√
Otras sustancias prioritarias						
[1] El decreto 1594 de 1984 regula la suma de nitratos y nitritos igual a 100 mg/l						

3.4. Preservación de flora y fauna

Según el artículo 31 del Decreto 1594 de 1984 se define el uso del recurso hídrico para preservación de flora y fauna como: "el empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrológicas en cualquiera de sus formas,

tal como en los casos de pesca y acuicultura". En algunos países como el caso de Australia, este uso se subdivide en: mantenimiento de ecosistemas acuáticos, reproducción y cría de peces, conservación de la biodiversidad y ecoturismo.

En la guía para determinar objetivos de calidad de Australia y Nueva Zelanda **Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality in 2000,** se clasifican parámetros críticos dependiendo del impacto que estos generan al ecosistema. Excesivas cantidades de parámetros críticos causan problemas, pero algunos de los compuestos son esenciales en bajas concentraciones para la función eficiente de la biota. Parámetros tales como amonio, metales pesados, OD, salinidad y temperatura, son tóxicos para la biota y son clasificados como parámetros críticos de impacto directo al ecosistema. Nutrientes y turbiedad se clasifican también como parámetros que causan impactos directos al ecosistema, aunque no son tóxicos pero en ciertas condiciones causan cambios adversos en el ecosistema y biota. Los valores óptimos de parámetros tóxicos para el ecosistema son determinados a través de ensayos de ecotoxicología en animales y plantas sensibles. Así mismo, la guía establece parámetros críticos de impacto indirecto, los cuales pueden modificar otros parámetros haciéndolos más o menos tóxicos. Dentro de estos parámetros se encuentran: el pH que puede liberar metales, la temperatura que incrementa tasas fisiológicas y el O.D. que puede cambiar las condiciones redox y liberar fósforo.

En las Tablas 3.4a y 3.4b se presentan parámetros que son regulados como criterios de calidad para uso de preservación de flora y fauna en los diferentes países consultados, los sugeridos por organismos internacionales, los establecidos en las normas nacionales y los propuestos por Uniandes.

Tabla 3.4a. Comparación parámetros de calidad para preservación flora y fauna

Parámetros	Objetivos de calidad para preservación de flora y fauna							
	AUSTRALIA	FRANCIA	USA	OMS	OECD	Decreto 1594/84	Acuerdo 043	Propuesta Uniandes
Elementos traza e inorgánicos								
Cd, Cu. Hg, Ni, Pb, Zi	√[1]	√[6]	√	√	√	√[1]	√	√
As	√	√		√		√	√	√
Ba, Be, B						√	√[2]	√[2]
Cianuro	√	√		√		√	√	√
Cr		√	√			√	√	√
Cr [6+]	√		√			√	√	√
Flúor [Fluoruros]	√			√				√
Mn				√	√	√	√	√
Fe				√	√	√	√	√
Se	√		√	√		√	√	√
Generales								
Aceites y grasas	√		√	√	√	√	√	√
Partículas es suspensión								
Turbiedad	√	√	√	√			√	
SST	√	√		√[1]	√		√	√
Estatus de acidificación								
pH	√	√	√	√	√	√	√	√
Aluminio		√						√
Condiciones térmicas								
Temperatura		√	√	√[1]				
Indicadores de proliferación de plantas								
Clorofila	√	√	√	√				
Microorganismos								
Coliformes totales		√		√	√			√
Coliformes fecales		√		√	√			√
Patógenos [E. Coli, Entrerococo, Estreptococo]		√		√	√			

Tabla 3.4b. Comparación parámetros de calidad para preservación Flora y Fauna

Parámetros	Objetivos de calidad para preservación de flora y fauna							
	AUSTRALIA	FRANCIA	USA	OMS	OECD	Decreto 1594/84	Acuerdo 043	Propuesta Uniandes
Condiciones de nutrientes								
NH_4	√	√	√	√[1]	√		√	√
NTK	√	√			√[3]			√
Nitratos	√	√		√	√		√	√
Nitritos	√	√		√	√		√	√
P_{total}	√	√		√	√			√
Condiciones de oxigenación								
COT		√						
DBO	√	√		√	√		√	√
DQO	√	√			√			√
Oxígeno disuelto	√	√	√	√	√		√	√
Mineralización								
Cloruros					√		√	
Conductividad				√				
Dureza								
Mineralización total								
Sulfatos					√			
Parámetros orgánicos								
Fenoles	√			√	√		√	√
Pesticidas	√	√	√	√	√			
Solventes orgánicos	√	√		√	√			
Surfactantes				√		√	√	√

[1] Decreto 1594 de 1984 regula clorofenoles y difenil

[2] Adicionalmente en el Acuerdo 043/2003 y la propuesta Uniandes se regula litio, plata y vanadio

[3] La OECD establece valores de N_{total}, Nitratos, Nitritos y Amonio

3.5. Uso industrial

El uso del agua para propósitos industriales, puede ser dividido en un número de sub-categorías, dependiendo del proceso en el cual el agua sea utilizada. La OMS establece la siguiente clasificación y los criterios de calidad para cada proceso [Anexo 3.2]:

- Calentamiento
- Enfriamiento
- Generación de energía
- Hierro y acero
- Producción de pulpa y papel
- Procesamiento de alimentos
- Minería
- Navegación

Los criterios de calidad del agua para este uso son establecidos con el fin de que no representen ningún riesgo para el proceso, producto y equipos donde se utiliza el agua. **South Africa Quality Guidelines** identifica parámetros de calidad del agua que deben ser regulados con el fin de evitar problemas de corrosión de tuberías, crecimiento biológico, entre otros. Los parámetros que se han identificado como prioritarios se establecen en la siguiente tabla y los problemas que causan.

Tabla 3.5 Criterios de calidad para uso industrial del agua

Problema	pH	Conductividad	Fe	Mn	Alcalinidad	Sulfatos	Cloruro	Silicato	Sólidos suspendidos	DQO
Corrosión	√	√	√		√	√	√		√	√
Formación de precipitados	√	√	√		√	√		√	√	
Película			√	√					√	√
Obstrucción	√	√	√	√	√	√		√	√	√
Abrasión						√			√	
Decoloración	√		√	√						√
Resin blinding	√	√	√	√	√	√		√	√	
Formación de espuma	√				√					√

Sedimentos	√		√	√		√			√	
Producción de gas	√				√	√				√
Olor/sabor	√	√	√	√			√			
Formación de precipitados	√	√	√	√	√	√				
Turbiedad	√		√			√			√	√
Color	√		√	√						√
Crecimiento biológico	√		√	√	√	√			√	√

3.6. Otros usos

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, un recurso hídrico puede ser usado para fines culturales o espirituales. En Australia este uso es exclusivo para cuerpos de agua que se consideran sitios sagrados, existen presencia de animales y plantas valiosas para la comunidad o tiene un uso espiritual. No se establecen valores de calidad para este uso, ya que estos son definidos a partir del valor cultural o espiritual que tiene el cuerpo de agua.

ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS DE CALIDAD EN BOGOTÁ

4. METODOLOGÍA PARA ESTABLECER LOS OBJETIVOS DE CALIDAD

A partir de la revisión bibliográfica realizada, de la experiencia internacional y de los estados actuales de los ríos en Bogotá, se propone establecer objetivos graduales de calidad para los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y Torca, que se encuentran en la jurisdicción de la Secretaría Distrital de Ambiente [SDA]. Con el fin de recuperar los ríos hasta que su uso sea el de preservación de flora y fauna, se contemplan una gradualidad en los objetivos de calidad en cuatro periodos de tiempo: el primero en 4 años, el segundo en 10 años, el tercero en 20 años y el cuarto en 40 años. Los criterios de calidad son más estrictos a medida que se avanza en el tiempo.

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para establecer los objetivos de calidad teniendo en cuenta la gradualidad al igual que los valores fijados con el fin de satisfacer la una buena calidad del recurso hídrico.

Para la determinación de los objetivos de calidad de los ríos en Bogotá se utilizó la siguiente información:

- Modelo de calidad del agua QUAL2K para cada río [excepto Torca]
- Datos de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá
- Objetivos de calidad: Australia, FAO, Francia, OECD, OMS y EUA

La información sobre el modelo de calidad QUAL2K se obtuvo a partir del informe, Fase III – Modelos de Calidad del Agua Ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo de 2007, del convenio entre la

Universidad de Los Andes [Uniandes] y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá [EAAB].

El modelo QUAL2K, es un modelo de calidad de agua para ríos y corrientes. Para su implementación en los tres principales ríos urbanos: Salitre, Fucha y Tunjuelo se siguió la metodología que se presenta a continuación [Uniandes, 2007]:

- Cada corriente principal es modelada con las correspondientes fuentes puntuales y distribuidas.
- Las características geográficas de cada cuenca y corriente: coordenadas, altitud, longitud y abscisas fueron estimadas a partir de la información de coberturas de curvas de nivel suministradas por EAAB disponibles en SIG – Sistema de Información Geográfica.
- Cada cuenca fue dividida en dos tramos correspondientes a los tramos en los cuales se realizaron las campañas de monitoreo siguiendo la masa de agua. Es decir cada tramo corresponde a una jornada de monitoreo donde a partir de los tiempos de viaje estimados, se realizó la caracterización de calidad del agua de la corriente siguiendo una misma masa de agua, garantizando así representatividad de los procesos.

Se modelaron los siguientes parámetros fisicoquímicos de calidad del agua:

- Oxígeno Disuelto [OD]
- Materia Orgánica: Carbono de degradación rápida [DBO_5], Carbono de degradación lenta, Detritus, Sólidos suspendidos inorgánicos
- Nutrientes: NTK, Nitrógeno orgánico, Amonio, Nitritos, Nitratos, Fósforo Total, Fósforo Orgánico, Fósforo Inorgánico
- pH, Temperatura, Conductividad

Igualmente la modelación se realizó bajo diferentes escenarios:

- Escenario 1 [E1]: estado actual de los ríos
- Escenario 2 [E2]: eliminación de los puntos de vertimientos según el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos [PSMV] de 2006
- Escenario 3 [E3]: eliminación de todos los diferentes vertimientos

Para el caso del Río Salitre, el PSMV no contempla ninguna obra por lo tanto los escenarios 1 y 2 son iguales. Los resultados del modelo se presentan en el Anexo 4.1.

La información de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá [RCHB] se obtuvo a partir de los registros históricos de Julio de 2006 a Mayo de 2007, suministrada por la SDA. Estos registros contienen información principalmente de caudales y concentraciones de varios parámetros en diferentes puntos de monitoreo sobre los ríos Bogotá, Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo.

Tabla 4.1 Características de los tramos

Características tramos de ríos			
Tramo	**Abscisa**	**Delimitación**	**Estación RCHB**
Canal Torca			
1		Entrada Jurisdicción DAMA	Canal el Cedro
		Makro	
2		Makro	Canal Torca, Makro 193
		Salida Jurisdicción DAMA	Canal Torca, Club Guaymaral
Río Salitre			
1	K 17 + 675	Entrada perímetro urbano	Parque Nacional
	K 16 + 623	Carrera 7ª	Arzobispo carrera 7
2	K 16 + 623	Carrera 7ª	
	K 13 + 905	Carrera 30	Carrera 30 Calle 53
3	K 13 + 905	Carrera 30	
	K 8 + 278	Avenida 68	Carrefour Av. 68
4	K 8 + 278	Avenida 68	
	K 4 + 812		Transversal 91
	K 0 + 037	Desembocadura	Salitre con Alameda
Fucha			
1	K 19 + 592	Entrada perímetro urbano	El Delirio
	K 15 + 153	Carrera 7ª	
2	K 15 + 153	Carrera 7ª	Carrera 7 Rio Fucha
	K 9 + 181		Avenida Ferrocarril
	K 7 + 563	Desembocadura Canal Comuneros	
3	K 7 + 563	Desembocadura Canal Comuneros	
	K 7 + 182		Fucha Avenida las Américas
	K 4 + 906	Av. Boyacá	
4	K 4 + 906	Av. Boyacá	
	K 3 + 830		Visión Colombia
	K 1 + 826		Fucha Zona Franca
	K 0 + 823	Desembocadura	Fucha con Alameda
Tunjuelo			
1	K 37 + 594	Entrada perímetro urbano	
			Regadera
	K 34 + 011	Desembocadura Quebrada Yomasa	
2	K 34 + 011	Desembocadura Quebrada Yomasa	Yomasa

	K 31 + 086		Doña Juana
	K 24 + 541		Barrio México
	K 23 + 672	Av. Boyacá	San Benito
3	K 23 + 672	Av. Boyacá	
	K 14 + 484	Autopista Sur	Makro Autosur
4	K 14 + 484	Autopista Sur	
	K 10 + 259		Transversal 86
	K 7 + 506		Puente La Independencia
	K 2 + 714	Desembocadura	Isla Pontón San José

En la Tabla 4.1 se muestran los tramos de cada río, las delimitaciones establecidas en la Resolución 1813 de 2006, las estaciones de la RCHB por tramo y la abscisa correspondiente a cada punto según el modelo QUAL2K.

Por el momento no se ha implementado el modelo QUAL2K en el Canal Torca, por esta razón no existe información sobre las abscisas de los puntos.

De acuerdo con los datos históricos, las estaciones de la RCHB que se encuentran en el límite de un tramo son:

- Canal Torca: Makro 193
- Río Salitre: Arzobispo Carrera 7, Carrera 30 Calle 53 y Carrefour Av. 68
- Río Fucha: Carrera 7
- Río Tunjuelo: Yomasa, San Benito y Makro Autosur

Para poder incorporar estas estaciones a un tramo, se realizó un análisis de la calidad del agua a lo largo del río con el fin de incluir la estación en un tramo donde la calidad del agua fuera similar a esta.

4.1. Objetivos de calidad – 4años

El propósito de establecer objetivos de calidad a 4 años es el de evitar la contaminación en los tramos de los ríos donde existe una buena calidad del agua y el de mejorar moderadamente la calidad del agua en este periodo de tiempo. En general para los tramos el objetivo es establecer criterios de calidad de acuerdo a las obras de saneamiento previstas por la EAAB en la ciudad y

algunas otras que sean requeridas para subir el estándar de calidad en cada uno de los tramos. La metodología utilizada para establecer los objetivos a 4 años, fue realizar una comparación y análisis de los registros históricos y los resultados de la modelación de los escenario 2 y 3, donde se modeló la calidad del agua una vez realizadas las obras del PSMV e incorporando otras actividades de saneamiento.

La información utilizada para llevar a cabo la metodología planteada se obtuvo a partir de:

- Registros históricos de todas las estaciones de la RCHB en los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo
- Modelación en QUAL2K de los ríos Salitre, Fucha y
- Recomendaciones de la FAO para uso agrícola
- Decreto 1594 de 1984 – uso agrícola
- Concentraciones de la OECD – Clase IV

Inicialmente se realizó un análisis del estado actual de los ríos con los resultados de la modelación [Escenario 1] y los valores históricos de la RCHB. Se encontró que la calidad del agua varía en función de los ríos y los tramos: en los tramos altos la calidad es mucho mejor que en los tramos finales. Por esta razón se establecieron objetivos de calidad por río y por tramo. A continuación se muestra la metodología utilizada.

4.1.1 Río Salitre

Teniendo en cuenta que el PSMV no prevé obras para este río, la calidad del agua continuará, por los próximos 4 años, similar a la calidad actual. Para establecer los objetivos de calidad se hizo un análisis de los registros históricos de la RCHB y los resultados de la modelación. En el Anexo 4.2 se encuentran las tablas de análisis y comparación por tramo de todos los parámetros.

4.1.1.1 Tramo 1

Este tramo cuenta con buenas condiciones de calidad del agua, por lo tanto existe la posibilidad de aprovechar el recurso de manera sostenible en actividades como la agricultura. Basándose en

este uso del agua, los objetivos de calidad para este tramo, y los tramos altos de los ríos Fucha y Tunjuelo, se establecieron teniendo en cuenta las recomendaciones de la FAO, la OECD y el Decreto 1594 de 1984 para uso agrícola.

Para los parámetros que no son modelados en QUAL2K y que cuentan con valores históricos de la RCHB, a partir de los registros históricos se escogió un valor que no sobrepase más del 15% de los valores registrados. Por ejemplo para arsénico el 10% de los registros sobrepasan 0,003 mg/L, valor propuesto en este estudio como objetivo de calidad. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 4.2 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Salitre [Tramo 1]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	10%
Cadmio	0,001	8%
Cianuro	0,005	8% [existen dos valores muy elevados]
Cinc	0,2	10% [existen dos valores muy elevados]
Cobre	0,02	13%
Coliformes fecales	1×10^5	8%
Coliformes totales	6×10^5	5%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,02	10%
Fenoles	0,1	8%
Manganeso	0,1	10%
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables [excepto 1]
Níquel	0,02	8%
Plomo	0,05	5%
Grasas y Aceites	10	8%

A continuación se presentan las gráficas de los valores históricos de cromo total y plomo. Los valores de la estación Parque Nacional se presentan en amarillo y en naranja los de la estación Arzobispo Carrera 7. Estas gráficas fueron de soporte para establecer los objetivos de calidad, en el Anexo 4.3 se encuentran las gráficas de todos los parámetros monitoreados en la RCHB para el tramo 1.

Gráfica. 4.1 Valores históricos de Cr_{total} – Salitre [Tramo 1]

Gráfica. 4.2 Valores históricos de Pb – Salitre [Tramo 1]

La misma metodología se siguió para los parámetros modelados en QUAL2K. Adicionalmente se hizo una comparación con los resultados de la modelación [ver Tabla 4.3]. En este caso, el porcentaje de valores que superan la propuesta está dentro de un rango de 0 a 20%. El valor propuesto para oxígeno disuelto es acorde con los resultados de la modelación, cabe decir que el 30% de los valores históricos supera la propuesta.

Tabla 4.3 Comparación RCHB y modelo – Salitre [Tramo 1]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	160	No existen registros en RCHB	159,43
pH	5 – 9	---	7,9 – 8,3
Oxígeno disuelto	≥ 7	30%	7,17
DBO	5	18%	5,47
DQO	35	18%	53
SST	30	15%	11
NH4	3	13%	0,31
NTK	5	15%	3,7

Los valores propuestos para: aluminio, berilio, boro, cobalto, flúor, hierro, litio, molibdeno, selenio y vanadio son acordes con el Decreto 1594 de 1984 y la FAO ya que no existen registros históricos y tampoco son modelados en QUAL2K. En el caso de NO_3 y NO_2, los valores propuestos son los establecidos en los objetivos de calidad para 10 años.

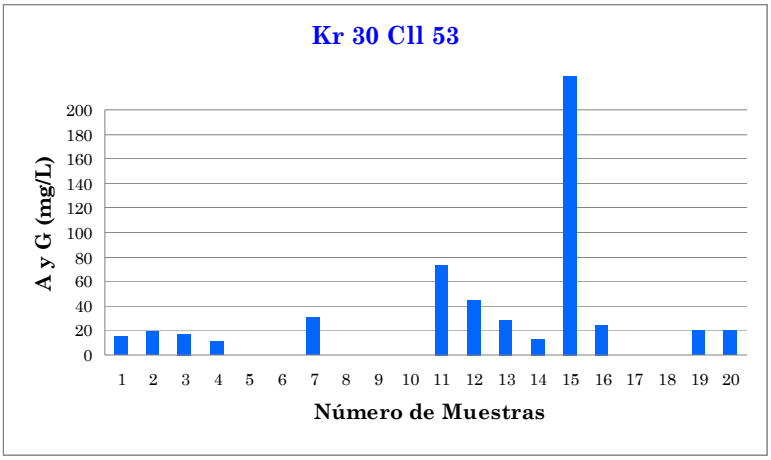
4.1.1.2 Tramo 2

En este tramo se utilizó la misma metodología del primer tramo. En la Tabla 4.4 se muestran los parámetros que cuentan con registros históricos pero no son modelados en QUAL2K. Para este tramo el porcentaje de valores que superan la propuesta están en un rango de 0 a 15%.

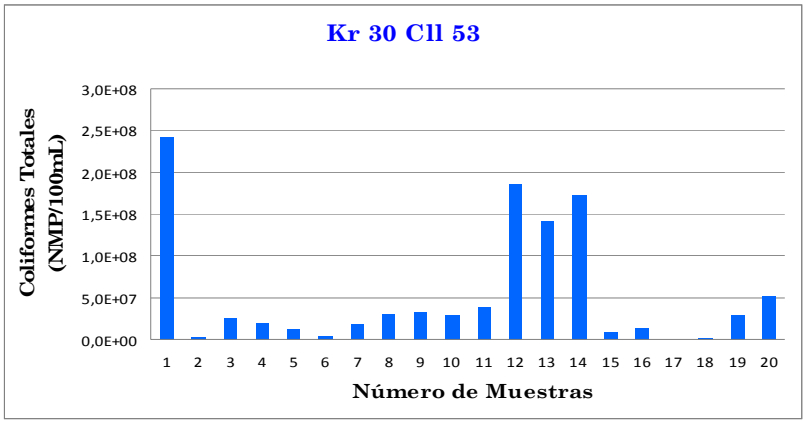
Tabla 4.4 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Salitre [Tramo 2]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	Todos los valores son No Detectables
Cadmio	0,001	5%
Cianuro	0,005	10%
Cinc	0,2	5%
Cobre	0,03	5%
Coliformes fecales	1×10^7	10%
Coliformes totales	1×10^8	15%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,02	5%
Fenoles	0,2	Todos los valores están por debajo
Manganeso	0,1	10%
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables [excepto 1]
Níquel	0,02	5%
Plomo	0,05	5%
Grasas y Aceites	40	15% [existe un valor muy elevado]

A continuación se muestran algunas gráficas de soporte de grasas y aceites y coliformes totales. En el Anexo 4.4 se encuentran las graficas de todos los parámetros monitoreados en la RCHB.



Gráfica. 4.3 Valores históricos de Grasas y aceites – Salitre [Tramo 2]



Gráfica. 4.4 Valores históricos de Coliformes totales – Salitre [Tramo 2]

El análisis de los parámetros modelados en QUAL2K se presenta en la Tabla 4.5. En el caso del oxígeno disuelto el valor propuesto es acorde con los resultados del modelo, cabe anotar que el 65% de los registros históricos son inferiores a la propuesta. El objetivo para la DBO y SST es conforme con lo establecido en la Resolución 1813 de 2006. Para establecer un valor de DQO, NH_4

y NTK se tuvo en cuenta que el porcentaje de valores que superen la propuesta estuviera en un rango de 0 a 35%.

Tabla 4.5 Comparación RCHB y modelo – Salitre [Tramo 2]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	140	No existen registros en RCHB	137,77
pH	5 – 9	---	7,28 – 8,03
Oxígeno disuelto	≥2	65%	2,33
DBO	150	45%	191,24
DQO	400	20%	213,31
SST	150	35%	8,83
NH4	30	15%	1,47
NTK	40	35%	6,32

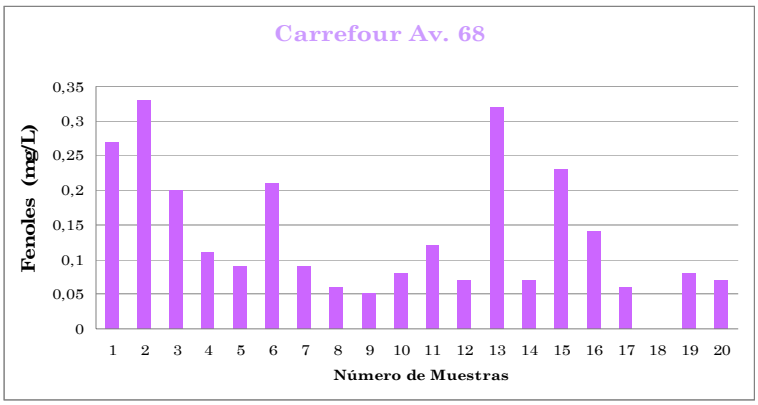
4.1.1.3 Tramo 3

Siguiendo la misma metodología descrita en los tramos 1 y 2, a continuación se presentan las tablas y algunas gráficas de análisis y comparación para establecer los objetivos de calidad en este tramo. En la Tabla 4.6 se muestran los valores propuestos para los parámetros de la RCHB que no son modelados. El porcentaje de valores que superan la propuesta están en un rango de 0 a 15%.

Tabla 4.6 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Salitre [Tramo 3]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	10%
Cadmio	0,002	5%
Cianuro	0,01	5%
Cinc	0,5	15%
Cobre	0,08	15%
Coliformes fecales	2×10^7	15%
Coliformes totales	2×10^8	5%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,03	10%
Fenoles	0,2	15%
Manganeso	0,15	15%
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables
Níquel	0,035	10%
Plomo	0,05	15%
Grasas y Aceites	40	15%

En la siguiente gráfica se observan los registros históricos de fenoles en la estación Avenida 68. Las gráficas de soporte de todos los parámetros monitoreados en la RCHB se encuentran en el Anexo 4.5.



Gráfica. 4.5 Valores históricos de Fenoles – Salitre [Tramo 3]

En la Tabla 4.7 se presentan los valores propuestos para los parámetros históricos de la RCHB y modelados en QUAL2K. El porcentaje de valores que superan la propuesta está en un rango de 0 a 30%, excluyendo el valor de DBO que el porcentaje es de 40%.

Tabla 4.7 Comparación RCHB y modelo – Salitre [Tramo 3]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	820	No existen registros en RCHB	820,05
pH	5 – 9	---	7,27 – 7,34
Oxígeno disuelto	≥0	---	0,03
DBO	150	40%	220,33
DQO	400	30%	370,32
SST	200	25%	98,56
NH4	35	25%	21,74
NTK	45	25%	35,14

4.1.1.4 Tramo 4

A continuación se presentan las tablas de análisis para establecer los objetivos de calidad en este tramo. Las gráficas de soporte se encuentran en el Anexo 4.6. En la Tabla 4.8 se muestran los valores propuestos de los parámetros de la RCHB que no fueron modelados. El porcentaje de valores que superan la propuesta está en un rango de 0 a 15%.

Tabla 4.8 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Salitre [Tramo 4]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	3%
Cadmio	0,002	8%
Cianuro	0,01	8%
Cinc	0,5	8%
Cobre	0,08	8%
Coliformes fecales	2×10^7	13%
Coliformes totales	2×10^8	3%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables [excepto 1]
Cromo total	0,03	10%
Fenoles	0,2	10%
Manganeso	0,2	8%
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables [excepto 1]
Níquel	0,05	8%
Plomo	0,05	13%
Grasas y Aceites	40	13%

En la Tabla 4.9 se muestran los valores propuestos para los parámetros modelados en QUAL2K. El porcentaje que superan la propuesta está en un rango de 0 a 25%, excepto en el caso de los SST donde el valor propuesto es acorde con lo establecido en la Resolución 1813 de 2006 y los resultados de la modelación. En este caso el 50% de los registros históricos superan ese valor [100mg/L].

Tabla 4.9 Comparación RCHB y modelo – Salitre [Tramo 4]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	1000	No existen registros en RCHB	1020,19
pH	5 – 9	---	7,18 – 7,38
Oxígeno disuelto	≥0	---	0,15
DBO	150	20%	195,04
DQO	400	18%	371,37
SST	100	50%	102,26
NH4	35	13%	37,51
NTK	45	10%	49,42

4.1.2 Río Fucha

Para establecer los objetivos de calidad se siguió la misma metodología utilizada en el Río Salitre. En este caso, se hizo una comparación con los resultados del modelo en el Escenario 2, ya que el PSMV tiene previsto la eliminación de 8 puntos de vertimiento sobre este río. En el Anexo 4.7 se encuentran las tablas de análisis y comparación por tramo de todos los parámetros.

En las Tablas 4.10 y 4.11 se muestran los análisis y comparaciones para establecer los objetivos de calidad del Tramo 1. Las gráficas de soporte se encuentran en el Anexo 4.8.

Tabla 4.10 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Fucha [Tramo 1]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	10%
Cadmio	0,001	10%
Cianuro	0,002	10%
Cinc	0,1	10%
Cobre	0,015	10%
Coliformes fecales	1×10^3	5%
Coliformes totales	3×10^3	10%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,02	10%
Fenoles	0,1	10%
Manganeso	0,15	10%
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables
Níquel	0,02	10%
Plomo	0,05	10%
Grasas y Aceites	10	10%

Tabla 4.11 Comparación RCHB y modelo – Fucha [Tramo 1]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	25	No existen registros en RCHB	12,44
Oxígeno disuelto	≥7	15%	5,03
DBO	2	10%	4,3
DQO	25	20%	21,9
SST	8	10%	12,8
NH4	0,5	10%	0,62
NTK	2	15%	0,7

En las Tablas 4.12 y 4.13 se presentan los análisis y comparaciones para establecer los objetivos de calidad del Tramo 2. Las gráficas de soporte se encuentran en el Anexo 4.9

Tabla 4.12 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Fucha [Tramo 2]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	8%
Cadmio	0,001	10%
Cianuro	0,005	8%
Cinc	0,3	8%
Cobre	0,05	10%
Coliformes fecales	9×10^6	8%
Coliformes totales	5×10^7	10%

Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,02	3%
Fenoles	0,2	8%
Manganeso	0,15	8%
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables
Níquel	0,04	8%
Plomo	0,05	10%
Grasas y Aceites	25	10%

Tabla 4.13 Comparación RCHB y modelo – Fucha [Tramo 2]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	640	No existen registros en RCHB	638,2
Oxígeno disuelto	≥0	---	0,0
DBO	150	13%	263,6
DQO	350	15%	402,6
SST	200	15%	82,3
NH4	20	15%	26,06
NTK	30	15%	43,98

En las Tablas 4.14 y 4.15 se muestran los análisis y comparaciones para establecer los objetivos de calidad del Tramo 3. Las gráficas de soporte se encuentran en el Anexo 4.10

Tabla 4.14 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Fucha [Tramo 3]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	10%
Cadmio	0,001	10%
Cianuro	0,01	10%
Cinc	0,4	10%
Cobre	0,1	5%
Coliformes fecales	2×10^7	10%
Coliformes totales	1×10^8	10%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,2	5%
Fenoles	0,2	10%
Manganeso	0,15	Ningún valor esta por encima
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables
Níquel	0,06	10%
Plomo	0,05	10%
Grasas y Aceites	60	10%

Tabla 4.15 Comparación RCHB y modelo – Fucha [Tramo 3]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	560	No existen registros en RCHB	555,9
Oxígeno disuelto	≥0	---	0,0
DBO	250	15%	235,2
DQO	450	25%	390,7
SST	200	20%	77,8
NH4	35	20%	25,40
NTK	50	15%	42,50

En las Tablas 4.16 y 4.17 se muestran los análisis y comparaciones para establecer los objetivos de calidad del Tramo 4. Las gráficas de soporte se encuentran en el Anexo 4.11.

Tabla 4.16 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Fucha [Tramo 4]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	8%
Cadmio	0,002	11%
Cianuro	0,02	8%
Cinc	0,8	10%
Cobre	0,1	10%
Coliformes fecales	5×10^7	10%
Coliformes totales	9×10^8	8%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,2	8%
Fenoles	0,25	11%
Manganeso	0,2	15%
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables
Níquel	0,1	8%
Plomo	0,05	15%
Grasas y Aceites	100	20%

Tabla 4.17 Comparación RCHB y modelo – Fucha [Tramo 4]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	400	No existen registros en RCHB	399,3
Oxígeno disuelto	≥0	Todos los valores son No Detectables [excepto 1]	0,0
DBO	300	33%	371,0
DQO	700	18%	401,8
SST	250	23%	46,4
NH4	45	16%	18,16
NTK	55	21%	29,20

El valor propuesto para DBO es acorde con la Resolución 1813 de 2006. Cabe anotar que el 33% de los valores históricos superan 300mg/L.

4.1.3 Río Tunjuelo

Para establecer los objetivos de calidad de este río se siguió la misma metodología utilizada en el Río Salitre y Fucha. Se realizó una comparación con los resultados del modelo en el Escenario 2, ya que el PSMV tiene previsto la eliminación de 32 puntos de vertimiento sobre el Río Tunjuelo. En el Anexo 4.12 se encuentran las tablas de análisis y comparación por tramo de todos los parámetros.

En las Tablas 4.18 y 4.19 se muestran los análisis y comparaciones para establecer los objetivos de calidad del Tramo 1. Las gráficas de soporte se encuentran en el Anexo 4.13.

Tabla 4.18 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Tunjuelo [Tramo 1]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	5%
Cadmio	0,001	10%
Cianuro	0,002	10%
Cinc	0,2	5%
Cobre	0,05	10%
Coliformes fecales	1×10^3	5%
Coliformes totales	2×10^4	10% [existe un valor muy elevado]
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,02	15%
Fenoles	0,1	5%
Manganeso	0,2	5%
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables [excepto 1]
Níquel	0,02	5%
Plomo	0,05	15%
Grasas y Aceites	40	5%

Tabla 4.19 Comparación RCHB y modelo – Tunjuelo [Tramo 1]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	17	No existen registros en RCHB	17,00
Oxígeno disuelto	≥5	10%	5,10
DBO	2	15%	34,01
DQO	40	10%	86,19
SST	8	15%	15,00
NH4	0,8	10%	0,81
NTK	2,5	10%	5,56

En las Tablas 4.20 y 4.21 se muestran los análisis y comparaciones para establecer los objetivos de calidad del Tramo 2. Después del análisis de la calidad del agua en este tramo, se concluyó que en la estación Doña Juana hay altas concentraciones contaminantes, es por esto que los valores históricos de esta estación no se tuvieron en cuenta para establecer los objetivos de calidad en el Tramo 2 del Río Tunjuelo [ver graficas de soporte en el Anexo 4.14], pues se considera que esta problemática debe ser resuelta en muy corto tiempo.

Tabla 4.20 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Tunjuelo [Tramo 2]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	10%
Cadmio	0,005	5%
Cianuro	0,005	15%
Cinc	0,25	13%
Cobre	0,05	7%
Coliformes fecales	5×10^6	6%
Coliformes totales	1×10^7	14%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,05	8%
Fenoles	0,15	10%
Manganeso	0,25	13%
Mercurio	0,00025	Todos os valores son No Detectables [excepto 1]
Níquel	0,04	3%
Plomo	0,05	10%
Grasas y Aceites	35	7%

Tabla 4.21 Comparación RCHB y modelo – Tunjuelo [Tramo 2]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	216	No existen registros en RCHB	216,7
Oxígeno disuelto	≥0	---	1,13
DBO	100	16%	35,71
DQO	300	8%	86,07
SST	400	11%	50,84
NH4	30	10%	10,74
NTK	35	11%	13,31

En las Tablas 4.22 y 4.23 se muestran los análisis y comparaciones para establecer los objetivos de calidad del Tramo 3. Las gráficas de soporte se encuentran en el Anexo 4.15.

Tabla 4.22 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Tunjuelo [Tramo 3]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	10%
Cadmio	0,005	Ningún valor está por encima
Cianuro	0,005	5%
Cinc	0,25	10%
Cobre	0,05	5%
Coliformes fecales	1×10^7	5%
Coliformes totales	4×10^7	5%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	0,1	5%
Fenoles	0,15	10%
Manganeso	0,25	Ningún valor está por encima
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables
Níquel	0,05	10%
Plomo	0,05	5%
Grasas y Aceites	35	Ningún valor supera la propuesta

Tabla 4.23 Comparación RCHB y modelo – Tunjuelo [Tramo 3]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	217	No existen registros en RCHB	216,7
Oxígeno disuelto	≥0	---	0,01
DBO	100	20%	18,47
DQO	300	5%	75,79
SST	400	5%	50,76
NH4	35	5%	10,90
NTK	40	5%	13,30

En las Tablas 4.24 y 4.25 se muestran los análisis y comparaciones para establecer los objetivos de calidad del Tramo 4. Las gráficas de soporte se encuentran en el Anexo 4.16.

Tabla 4.24 Resumen de porcentaje de valores que superan la propuesta – Tunjuelo [Tramo 4]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta
Arsénico	0,003	7%
Cadmio	0,005	3%
Cianuro	0,01	8%
Cinc	0,5	5%
Cobre	0,05	15%
Coliformes fecales	2×10^7	15%
Coliformes totales	1×10^8	10%
Cromo hexavalente	0,025	Todos los valores son No Detectables
Cromo total	1	25%
Fenoles	0,45	13%

Manganeso	0,25	3%
Mercurio	0,00025	Todos los valores son No Detectables
Níquel	0,05	3%
Plomo	0,05	15%
Grasas y Aceites	100	22%

Tabla 4.25 Comparación RCHB y modelo – Tunjuelo [Tramo 4]

Parámetro	Propuesta [mg/L]	Porcentaje de valores que superan la propuesta	Modelo QUAL2K
Conductividad [µS/cm]	216	No existen registros en RCHB	216,7
Oxígeno disuelto	≥0	---	0,00
DBO	150	65%	20,08
DQO	700	15%	77,32
SST	400	23%	48,11
NH4	50	25%	11,27
NTK	60	27%	13,08

El valor propuesto para oxígeno disuelto es acorde con la Resolución 1813 de 2006 El 65% de los valores históricos superan ese valor.

4.1.4 Canal Torca

Para establecer los objetivos de calidad en este canal se hizo un análisis a partir de los valores históricos de la RCHB, como se realizó para los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo. En este caso no se hizo comparación con la modelación ya que no existe un modelo de calidad del agua para este canal. En el Anexo 4.17 se encuentran las tablas de análisis y comparación y en los Anexos 4.18 y 4.19 se muestran las gráficas de soporte.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los objetivos de calidad a 4 años propuestos para los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo.

Tabla 4.26 Objetivos de calidad – 4 años

Objetivos de Calidad - 4 años															
Parámetro	**Unidades**	**Río Salitre**				**Río Fucha**				**Río Tunjuelo**				**Canal Torca**	
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2
Amonio	mg/L	3	30	35	35	0,5	20	35	45	0,8	30	35	50	6	35
Arsénico	mg/L	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Cadmio	mg/L	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,005	0,005	0,005	0,001	0,001
Cianuro	mg/L	0,005	0,005	0,01	0,01	0,002	0,005	0,01	0,02	0,002	0,005	0,005	0,01	0,005	0,01
Cinc	mg/L	0,2	0,2	0,5	0,5	0,1	0,3	0,4	0,8	0,2	0,25	0,25	0,5	0,1	0,2
Cobre	mg/L	0,02	0,03	0,08	0,08	0,015	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,015	0,025
Coliformes fecales	NMP/100mL	1×10^5	1×10^7	2×10^7	2×10^7	1×10^3	9×10^6	2×10^7	5×10^7	1×10^3	5×10^6	1×10^7	2×10^7	1×10^5	1×10^6
Coliformes totales	NMP/100mL	6×10^5	1×10^8	2×10^8	2×10^8	3×10^3	5×10^7	1×10^8	9×10^8	2×10^4	1×10^7	4×10^7	1×10^8	5×10^5	5×10^7
Conductividad	µS/cm	160	140	820	1000	25	640	560	400	17	216	217	216	70	70
Cromo hexavalente	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Cromo total	mg/L	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,2	0,2	0,02	0,05	0,1	1	0,015	0,02
DBO	mg/L	5	150	150	150	2	150	250	300	2	100	100	150	30	200
DQO	mg/L	35	400	400	400	25	350	450	700	40	300	300	700	60	500
Fenoles	mg/L	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,25	0,1	0,15	0,15	0,45	0,05	0,15
Fósforo	mg/L	1	8	10	10	0,1	8	10	13	0,7	9	6	10	3	8
Grasas y Aceites	mg/L	10	40	40	40	10	25	60	100	40	35	35	100	80	150
Manganeso	mg/L	0,1	0,1	0,15	0,2	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,07	0,1
Mercurio	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025
Níquel	mg/L	0,02	0,02	0,035	0,05	0,02	0,04	0,06	0,1	0,02	0,04	0,05	0,05	0,01	0,02
NTK	mg/L	5	40	45	45	2	30	50	55	2,5	35	40	60	7	60
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 7	≥2	≥0	≥0	≥7	≥0	≥0	≥0	≥5	≥0	≥0	≥0	≥ 3	≥ 0,5
pH	unidades	5 – 9				5 – 9				5 – 9				5 - 9	
Plomo	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,05
SST	mg/L	30	150	200	100	8	200	200	250	8	400	400	400	130	250
Aluminio	mg/L	5				5				5					
Berilio	mg/L	0,1				0,1				0,1					
Boro	mg/L	0,3				0,3				0,3					
Cobalto	mg/L	0,05				0,05				0,05					
Flúor	mg/L	1				1				1					
Hierro	mg/L	5				5				5					
Litio	mg/L	2,5				2,5				2,5					
Molibdeno	mg/L	0,01				0,01				0,01					
Nitratos	mg/L	10				10				10					
Nitritos	mg/L	0,3				0,3				0,3					
Selenio	mg/L	0,02				0,02				0,02					
Vanadio	mg/L	0,1				0,1				0,1					

4.2. Objetivos de calidad – 10 años

Según el Acuerdo 043 de la CAR de 2006, la calidad del agua de la cuenca del Río Bogotá para el año 2020 debe cumplir con la Clase IV, la cual corresponde a uso agrícola con restricción y pecuario. Con el fin de alcanzar estos objetivos de calidad, se hicieron balances de masa para determinar la concentración máxima que deben tener los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo antes de descargar al Río Bogotá. En la Figura 4.1 y la Ecuación 1.a se presenta el esquema de la metodología utilizada para establecer los objetivos de calidad en 10 años para los ríos urbanos de Bogotá.

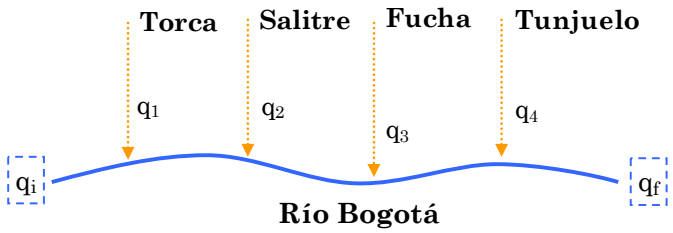


Figura. 4.1 Conceptualización del balance de masa

Las concentraciones en los ríos de la ciudad, $[\ ]_n$, se calcularon a partir de la siguiente ecuación:

$$q_i * [\ ]_i + \sum_{n=1}^{4} q_n * [\ ]_n = q_f * [\ ]_f \qquad \text{[Ec. 1.a]}$$

Donde,

q_i = caudal promedio del Río Bogotá aguas arriba de la ciudad, m^3/s

q_n = suma de los caudales promedio de los 4 principales ríos de la ciudad, m^3/s

q_f = caudal promedio del Río Bogotá aguas abajo de la ciudad, m^3/s

$[\ ]_i$ = concentración promedio del contaminante sobre el Río Bogotá, aguas arriba de la ciudad, mg/L

$[\ ]_f$ = concentración del contaminante conforme con el Acuerdo 043, recomendaciones de organismos internacionales o experiencia internacional, mg/L

Parte de la información utilizada para el cálculo de los balances de masa se obtuvo a partir de los registros históricos de las estaciones de la RCHB como se muestra en la Figura 4.2. En la estación Aguas Arriba Descarga Canal Torca, la cual queda sobre el Río Bogotá, se tomaron los valores de q_i y $[\ ]_i$ y en la estación Cierre, igualmente sobre el Río Bogotá, se tomaron los valores de q_f. Los datos de los caudales q_1, q_2, q_3, q_4 se tomaron de las estaciones: Club Guaymaral [sobre el Canal Torca], Salitre con Alameda [sobre el Río Salitre], Fucha con Alameda [sobre el Río Fucha] y Isla Pontón San José [sobre el Río Tunjuelo], la suma de estos caudales es q_n.

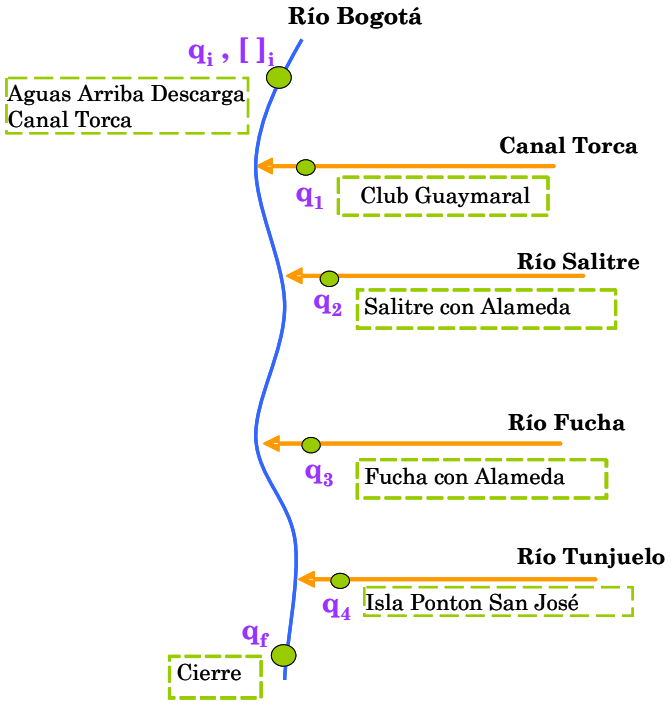


Figura 4.2 Esquema de las estaciones fijas de la RCHB

Las concentraciones iniciales, $[\ ]_i$, de nitratos, nitritos y fósforo total se tomaron de los resultados de la Modelación de la Calidad del Agua del Río Bogotá de 2002 del convenio Uniandes y EAAB, ya que la RCHB no monitorea estos parámetros. Los valores fueron obtenidos del punto La Balsa en el kilómetro 132+915, el cual está sobre el Río Bogotá agua arriba de la ciudad y cercano a la estación Aguas Arriba Descarga Canal Torca de la RCHB.

Los registros de la RCHB muestran valores de caudales y concentraciones asociados a una observación climática de campo [seco, lluvia y nublado], por esta razón se trabajó bajo tres escenarios:

- promedio de todos los valores registrados [promedio]
- promedio de los valores registrados en tiempo seco [$prom_{seco}$]
- promedio de los valores registrados en tiempo de lluvia y nublado [$prom_{húmedo}$]

La información sobre $[\ ]_n$ se obtuvo a partir del Acuerdo 043 - Clase IV. En varios casos se encontró que las concentraciones de los contaminantes en este Acuerdo eran muy elevadas en relación con los datos históricos de la RCHB [estación Cierre] y la experiencia internacional. Con el fin de mantener la buena calidad del Río Bogotá, se tuvieron en cuenta otros escenarios:

- concentraciones promedio de los valores históricos de estación Cierre de la RCHB
- Acuerdo 043 - Clase II
- FAO - uso agrícola
- OECD
- SEQ-Eau - Francia

Una vez realizados los cálculos de balance de masa, los resultados se confrontaron con el Escenario 3 de la modelación en QUAL2K. Cabe destacar que esta comparación solo se hizo para los contaminantes modelados: DBO, DQO, SST, amonio [NH_4], NTK, nitratos [NO_3] y fósforo total [P_{total}].

En Tabla 4.27 se muestran los balances de algunos parámetros como DBO, DQO, SST, NTK y P_{total}. En la tabla, la columna "Modelo E3" corresponde al valor más crítico o más alto de los resultados de la modelación del Escenario 3 y en la columna "Propuesta" se encuentra el valor sugerido por Uniandes como objetivo de calidad para 10 años.

Tabla 4.27 Cálculo de balances de masas – objetivos de calidad 10 años

Calculo objetivos de calidad - 10 años											
Parámetros	**Escenario climático**	**q_i**	**$[\ ]_i$**	**q_f**	**$[\ ]_f$**	**Escenario $[\ ]_f$**	**q_n**	**$[\ ]_n$**	**Modelo E3**	**Propuesta**	**Justificación**
DBO [mg/L]	promedio	12,77	5,82	31,24	50	Acuerdo 043 - Clase IV	16,32	91,16	14,00	15	Acorde con resultados del Modelo
	$prom_{seco}$	10,25	5,00	27,99	50		14,05	95,95			
	$prom_{humedo}$	14,12	6,17	33,67	50		17,53	91,07			
DBO [mg/L]	promedio	12,77	5,82	31,24	7	Acuerdo 043 - Clase II y OECD Clase IV	16,32	8,84			
	$prom_{seco}$	10,25	5,00	27,99	7		14,05	10,30			
	$prom_{humedo}$	14,12	6,17	33,67	7		17,53	8,48			
DQO [mg/L]	promedio	12,77	33,25	31,24	20	OECD - Clase IV	16,32	12,28	61,29	25	Teniendo en cuenta la relación DBO=0,6*DQO
	$prom_{seco}$	10,25	25,57	27,99	20		14,05	21,19			
	$prom_{humedo}$	14,12	37,38	33,67	20		17,53	8,30			
SST [mg/L]	promedio	12,77	25,75	31,24	40	Acuerdo 043 - Clase IV	16,32	56,43	45,36	55	Acorde con resultados del Modelo y balance de masa con $[\ ]_f$ del Acuerdo 043 - Clase IV
	$prom_{seco}$	10,25	21,43	27,99	40		14,05	64,05			
	$prom_{humedo}$	14,12	28,08	33,67	40		17,53	54,21			
SST [mg/L]	promedio	12,77	0,00	31,24	10	Acuerdo 043 - Clase II	16,32	19,14			
	$prom_{seco}$	10,25	0,00	27,99	10		14,05	19,92			
	$prom_{humedo}$	14,12	0,00	33,67	10		17,53	19,21			
NTK [mg/L]	promedio	12,77	0,00	31,24	6	SEQ-Eau Equilibrio biológico - calidad media	16,32	11,49	9,68	10	Acorde con resultados del Modelo y balance de masa
	$prom_{seco}$	10,25	0,00	27,99	6		14,05	11,95			
	$prom_{humedo}$	14,12	0,00	33,67	6		17,53	11,52			
P_{total} [mg/L]	promedio	12,77	1,59	31,24	1	OECD Clase IV	16,32	0,67	7,55	0,6	Acorde balance de masa con $[\ ]_f$ de OECD - Clase IV
	$prom_{seco}$	10,25	1,59	27,99	1		14,05	0,83			
	$prom_{humedo}$	14,12	1,59	33,67	1		17,53	0,64			

Para la DBO se realizó el balance de masa tomando dos escenarios de $[\ ]_f$, sin embargo la propuesta está más acorde con los resultados de la modelación. En el caso de la DQO se tuvo en cuenta la relación que existe entre la DBO y la DQO encontrados en ríos urbanos. Para los SST se hizo el balance de masa tomando dos escenarios de $[\ ]_f$. El valor propuesto para este parámetro está acorde con el balance de masa del primer escenario de $[\ ]_f$ que corresponde al Acuerdo 043 – Clase IV y con los resultados de la modelación. El valor propuesto para NTK es coherente con el balance de masa y el modelo.

En el caso del P_{total}, la modelación en QUAL2K muestra altos niveles de fósforo en el Río Tunjuelo a partir del punto Barrio México en el km 24+752 debido al impacto de las cárcavas inundadas que se encuentran en esta zona. El valor propuesto es conforme con el balance de masa en el escenario $[\ ]_f$ correspondiente a la OECD – Clase IV y con los resultados de las modelaciones sin tener en cuenta las concentraciones de fósforo después de Barrio México.

En el Anexo 4.20 se encuentran los cálculos para todos los parámetros. En el caso del pH, la conductividad y el oxígeno disuelto, no se hicieron balances de masa y se siguieron las recomendaciones de la FAO y la OECD.

Para establecer los objetivos de calidad para aluminio, berilio, boro, cobalto, flúor, hierro, litio, molibdeno, selenio y vanadio, se hizo el balance de masa, tomando $[\ ]_i$ como el 50% de $[\ ]_f$, debido a que no existen registros de la RCHB para estos parámetros.

Los valores propuestos para: arsénico, cadmio, cinc, cianuro, cobre, cromo total, cromo hexavalente, manganeso, mercurio, níquel y plomo son coherentes con los balances de masa utilizando $[\ ]_f$ como promedio histórico en la estación Cierre de la RCHB, ya que los valores establecidos por la CAR y la experiencia internacional son menos restrictivos que estos promedios.

En la Tabla 4.28 se muestra el resumen de los objetivos de calidad propuestos para 10 años en los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo.

Tabla 4.28 Objetivos de calidad – 10 años

Objetivos de calidad - 10 años			
Parámetro	**Unidades**	**1er Tramo**	**2do, 3ro y 4to Tramo**
Aluminio	mg/L	1,5	1,5
Arsénico	mg/L	0,003	0,003
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	0,3	1
Cadmio	mg/L	0,0002	0,001
Cianuro	mg/L	0,002	0,004
Cinc	mg/L	0,1	0,2
Cobalto	mg/L	0,05	0,1
Cobre	mg/L	0,015	0,025
Coliformes fecales	NMP/100mL	100	
Coliformes totales	NMP/100mL	3×10^3	
Conductividad	µS/cm	17	700
Cromo hexavalente	mg/L	0,025	0,025
Cromo Total	mg/L	0,015	0,02
DBO_5	mg/L	5	15
DQO	mg/L	25	25
Fenoles	mg/L	0,05	0,15
Flúor	mg/L	1	1,5
Fósforo total	mg/L	0,1	0,6
Grasas y Aceites	mg/L	7	7
Hierro	mg/L	5	8
Litio	mg/L	2,5	4
Manganeso	mg/L	0,07	0,1
Mercurio	mg/L	0,00025	0,00025
Molibdeno	mg/L	0,01	0,02
Níquel	mg/L	0,01	0,02
Nitrógeno total	mg/L	1,5	10
Oxígeno disuelto	mg/L	8	4
pH	unidades	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Plomo	mg/L	0,02	0,03
SAAM	mg/L	0,5	0,7
Selenio	mg/L	0,02	0,03
SST	mg/L	10	55
Vanadio	mg/L	0,1	0,15

En el primer tramo o tramos altos de los ríos, las concentraciones de algunos parámetros son diferentes a los demás tramos, como es el caso de: amonio, arsénico, cinc, cobre, conductividad, DBO, DQO, fósforo total, hierro, litio, molibdeno, oxígeno disuelto, selenio, SST y vanadio. Como se explicó en la metodología de los objetivos de calidad para 4 años, los tramos altos presentan buenas condiciones de calidad, para seguir manteniendo el buen estado de estos tramos se establecen valores más restrictivos. Estos valores corresponden a la mejor calidad de agua encontrada en los tramos altos según los promedios históricos de la RCHB o recomendaciones de la FAO.

4.3. Objetivos de calidad – 20 y 40 años

El objetivo final de definir unos criterios de calidad es proteger los ecosistemas acuáticos preservando la flora y la fauna. Teniendo en cuenta la experiencia internacional, para lograr estos objetivos es necesario mantener una gradualidad. Por esta razón a 4 y 10 años se establecieron parámetros de calidad de acuerdo a las obras de saneamiento necesarias en la ciudad [PSMV y remoción de todos los puntos de vertimientos], mientras que para 20 y 40 años se contempla la recuperación ecológica de los ecosistemas.

Estos objetivos de calidad propuestos buscan mantener la buena calidad del agua con la que entran los ríos al perímetro urbano hasta su desembocadura en el Río Bogotá. Estos objetivos se basaron en la revisión bibliográfica internacional para usos del agua agrícola sin restricción, recreacional, protección de la salud humana y preservación de flora y fauna. Además de considerar una buena calidad del agua se debe tener en cuenta factores que pueden deteriorar un ecosistema como la contaminación de sedimentos, la remoción de hábitats, el uso de la tierra, entre otros.

En la Tabla 4.29 se presentan los objetivos de calidad propuestos para 20 años, los tramos altos de los ríos cuentan con valores más estrictos. También se muestra la justificación por la cual se propone el valor de acuerdo a la revisión bibliográfica.

Tabla 4.29. Objetivos de calidad y justificación – 20 años

Objetivos de Calidad - 20 años				
Parámetro	**Unidades**	**1er Tramo**	**2do, 3ro y 4to Tramo**	**Justificación**
Aluminio	mg/L	0,1	0,2	Objetivos Francia - SEQ-Eau Uso Biológico
Arsénico	mg/L	0,003	0,003	Más estricto 10 años
Berilio	mg/L	0,1	0,1	Acorde objetivos 10 años (FAO)
Boro	mg/L	0,3	0,3	Acorde objetivos 10 años (FAO)
Cadmio	mg/L	0,0002	0,001	Acorde objetivos 10 años (balance de masa)
Cianuro	mg/L	0,002	0,004	Acorde objetivos 10 años (balance de masa)
Cinc	mg/L	0,1	0,2	Acorde objetivos 10 años (valores RCHB)
Cobalto	mg/L	0,05	0,05	Acorde objetivos 10 años (FAO)
Cobre	mg/L	0,015	0,025	Acorde objetivos 10 años (valores RCHB)
Coliformes fecales	NMP/100mL	100	2000	OECD - Clase II
Coliformes Totales	NMP/100mL	300	5000	OECD - Clase II
Cromo hexavalente	mg/L	0,01	0,01	CAR - Clase I
Cromo Total	mg/L	0,015	0,02	Acorde objetivos 10 años (valores RCHB)
DBO_5	mg/L	3	6	OECD - Clase III
DQO	mg/L	20	20	Objetivos Francia - SEQ-Eau Uso Biológico
Fenoles	mg/L	0,001	0,005	OECD - Clase III
Flúor	mg/L	1	1	Acorde objetivos 10 años (FAO)
Fósforo total	mg/L	0,1	0,4	OECD - Clase III
Grasas y Aceites	mg/L	0,05	0,5	OECD - Clase III
Hierro	mg/L	0,1	3	OECD - Clase III
Litio	mg/L	2,5	2,5	Acorde objetivos 10 años (FAO)
Manganeso	mg/L	0,07	0,1	Acorde objetivos 10 años (balance de masa)
Mercurio	mg/L	0,00025	0,00025	Acorde objetivos 10 años (valores RCHB)
Molibdeno	mg/L	0,01	0,01	Acorde objetivos 10 años (FAO)
Níquel	mg/L	0,01	0,02	Acorde objetivos 10 años (balance de masa)
Nitrógeno total	mg/L	2	8	OECD - Clase III
OD	mg/L	8	5	OECD - Clase III
pH	unidades	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	OECD - Clase I y CAR Clase I
Plomo	mg/L	0,002	0,002	Objetivos Francia - SEQ-Eau Uso Biológico
SAAM	mg/L	0,5	0,5	Más estricto 10 años
Selenio	mg/L	0,01	0,02	Acorde objetivos 10 años (FAO)
SST	mg/L	10	25	Objetivos Francia - SEQ-Eau Uso Biológico
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	Acorde objetivos 10 años (FAO)

En la Tabla 4.30 se presentan los objetivos de calidad para 40 años y su justificación. La propuesta es acorde con el objetivo de mantener la buena calidad del agua y la posibilidad de la preservación de flora y fauna en los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo.

Tabla 4.30 Objetivos de calidad – 40 años

Objetivos de Calidad - 40 años			
Parámetro	**Unidades**	**Todos los tramos**	**Justificación**
Aluminio	mg/L	0,1	Objetivos Francia - SEQ-Eau Uso Biológico
Arsénico	mg/L	0,003	Más estricto 10 años
Berilio	mg/L	0,1	Más estricto 10 años
Boro	mg/L	0,3	Más estricto 10 años
Cadmio	mg/L	0,0002	Más estricto 10 años
Cianuro	mg/L	0,002	Más estricto 10 años
Cinc	mg/L	0,1	Más estricto 10 años
Cobalto	mg/L	0,05	Más estricto 10 años
Cobre	mg/L	0,015	Más estricto 10 años
Coliformes fecales	NMP/100mL	100	Más estricto 10 años
Coliformes Totales	NMP/100mL	300	Más estricto 10 años
Cromo hexavalente	mg/L	0,01	CAR - Clase I
Cromo Total	mg/L	0,015	Más estricto 10 años
DBO_5	mg/L	3	OECD - Clase I
DQO	mg/L	20	Objetivos Francia - SEQ-Eau Uso Biológico
Fenoles	mg/L	0,001	OECD - Clase I
Flúor	mg/L	1	Más estricto 10 años
Fósforo total	mg/L	0,1	Más estricto 10 años
Grasas y Aceites	mg/L	0,05	OECD - Clase I
Hierro	mg/L	0,1	CAR - Clase I
Litio	mg/L	2,5	Más estricto 10 años
Manganeso	mg/L	0,07	Más estricto 10 años
Mercurio	mg/L	0,00025	Más estricto 10 años
Molibdeno	mg/L	0,01	Más estricto 10 años
Níquel	mg/L	0,01	Más estricto 10 años
Nitrógeno total	mg/L	2	Más estricto 10 años
Oxígeno disuelto	mg/L	8	Más estricto 10 años
pH	unidades	6,5 - 8,5	OECD - Clase I y CAR Clase I
Plomo	mg/L	0,002	Objetivos Francia - SEQ-Eau Uso Biológico
SAAM	mg/L	0,5	Más estricto 10 años
Selenio	mg/L	0,01	CAR - Clase I
SST	mg/L	10	Más estricto 10 años
Vanadio	mg/L	0,1	Más estricto 10 años

4.4. Objetivos de calidad - sedimentos

La preservación de flora y fauna está directamente influenciada por la calidad del agua y los sedimentos. La buena calidad de los sedimentos proporciona hábitats y alimento para la vida acuática. Sin embargo, los organismos acuáticos pueden interactuar con las sustancias tóxicas que son vertidas a los ríos y que tienden a sedimentarse afectando la calidad de los cuerpos de agua. Por lo tanto, para la preservación de la flora y fauna se sugiere controlar la calidad de los sedimentos en los ríos en Bogotá garantizándose que estos no representen un peligro para el ecosistema acuático.

Se propone establecer objetivos de calidad en sedimentos a 20 años para los tramos 1 de los ríos Fucha, Torca, Tunjuelo y Salitre, donde el recurso hídrico estaría apto para preservación de flora y fauna, y a 40 años, para los demás tramos.

Para la determinación de los criterios y valores de calidad se utilizó la siguiente información:

- Calidad actual de lodos en los tramos 2, 3 y 4 de los ríos Fucha, Tunjuelo y Salitre
- Objetivos de calidad para sedimentos en Australia, Canadá, Estados Unidos y Francia
- Datos históricos de calidad de sedimentos en la PTAR Salitre

Los parámetros de calidad a regularse son grupos de sustancias altamente tóxicas para los organismos acuáticos y que tienden a acumularse en los sedimentos de los ríos, estos son: metales pesados, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos [PAH], Pesticidas Organoclorados y Bifenilos policlorados [PCB]. Estos compuestos son regulados para calidad de sedimentos en países como Australia, Canadá, Unión Europea y Estados Unidos.

Para establecer los valores de los criterios de calidad, se compararon los valores de estos países que han sido establecidos a partir de análisis de ecotoxicología de organismos acuáticos. En Canadá y Estados Unidos se establecen valores dependiendo del efecto que genere al ecosistema, que puede ser ninguno, mínimo, bajo o severo. Los criterios de calidad de sedimentos de Canadá y Estados Unidos fueron tomados de las guía **Summary of Guidelines for contaminated**

freshwater sediments, 1995 de **Wahington State Department of Ecology.** En esta guía se recopilan los criterios de calidad de sedimentos para ríos de Ontario, Nueva York, EPA y Río Lawrence en Canadá**.** Para Australia se referenciaron los valores establecidos en la guía de objetivos de calidad para ríos y aguas marinas, **Australian and New Zeland Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, 2000**. Los criterios de calidad en Francia se obtuvieron del Sistema de Evaluación de la Calidad del Agua, **SEQ-Eau.**

4.4.1 Metales pesados

Para metales pesados se propone regular: arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel, plata y plomo. Para establecer los valores se analizó la calidad de los lodos actuales de los ríos en Bogotá. Para esto se utilizaron los resultados de monitoreos en los sedimentos de los ríos Fucha, Salitre y Tunjuelo en los tramos 2, 3 y 4 [Anexo 4.21], realizados por la EAAB en abril y mayo de 2007. A partir de esta información se seleccionó el tramo que presentó la mejor calidad, el cual corresponde al tramo 3 del Río Salitre, estación Transversal 91.

Tabla 4.31 Calidad de sedimentos en el Río Salitre [Transversal 91]

Parámetro	Unidad [B.S.]	Valor
Cadmio	[mg Cd/kg]	0,311
Cinc	[mg Zn/kg]	35,968
Cobre	[mg Cu/kg]	6,310
Cromo Total	[mg Cr/kg]	2,289
Níquel	[mg Ni/kg]	2,885
Plomo	[mg Pb/kg]	7,733

Para establecer los valores de calidad de sedimentos para cadmio, cobre, cromo total, níquel y plomo se comparó a través de una matriz el valor establecido en la Tabla 4.31 con los objetivos de calidad establecidos en Australia, Estados Unidos y Canadá. Así mismo se compararon con valores mínimos, máximos y promedios medidos en los lodos de la PTAR Salitre para el periodo de 2000 a 2006.

Tabla 4.32 Propuesta de objetivo de calidad para metales pesados en sedimentos

Sustancia		Metales Pesados								
		As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Ag	Zn
REFERENCIA		mg/Kg B.S.								
Salitre Trans. 91			0,646	2,289	6,310	37,401		2,885		36
PTAR Salitre	Min.	0,01	0,02	35,1	101	60,4		24,1		102,7
	Max.	4,16	8,96	78,3	203,9	227		98,6		1866
	Prom.	0,3839	4,49	58,4	137,54	110		35		1004,3
EPA		33	4,98	111	149	128	1,06	48,6		459
Canadá, Ontario	Efecto bajo	6	0,6	26	16	31	0,2	16	0,5	120
	Efecto severo	33	10	110	110	250	2	75		820
Canadá Río Lawrence	No efecto	3	0,2	55	28	23	0,05			100
	Efecto bajo	7	0,9	55	28	42	0,2			150
Nueva York	No efecto		0,6		16	30	0,1			
	Efecto bajo		10		110	100	4			
Australia	Efecto bajo	20	1,5	80	65	50	0,15	21	1	200
	Efecto severo	70	10	370	270	220	1	52	3,7	410
Propuesta		**4**	**0.6**	**2.5**	**6**	**30**	**0.2**	**3**	**0.5**	**50**
Justificación		Acorde con PTAR y Canadá	Acorde con datos EAAB y Canadá	Acorde con EAAB y Canadá	Acorde con EAAB y Canadá	Acorde con EAAB y Canadá	Acorde Canadá y Australia	Acorde con EAAB	Acorde con Canadá	Acorde con EAAB.

En la Tabla 4.32 se presentan los valores propuestos por Uniandes, estos valores se determinaron utilizando los siguientes criterios:

- Si el valor de cadmio, cinc, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel o plata establecido en la Tabla 4.31 es menor que el valor establecido para estos parámetros en otros países, se toma el valor de la Tabla 4.31. Si el valor del parámetro en la tabla 4.31 es mayor que los establecidos en otros países, se selecciona el valor que represente un efecto de toxicidad bajo a los ecosistemas [ver Tabla 4.32]
- Para establecer los valores de arsénico y plata se compararon los valores mínimos obtenidos en los sedimentos de la PTAR El Salitre con los establecidos en otros países. Si el valor del parámetro en la PTAR Salitre es menor, se establece este valor como objetivo

de calidad. De lo contrario, se selecciona el menor valor establecido por los otros países y que representa un efecto de toxicidad bajo a los ecosistemas.

- El mercurio se determina a partir del valor establecido en Canadá y Australia que representan un efecto de toxicidad bajo a los ecosistemas.
- Se redondearon valores.

4.4.2 Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Dentro de este grupo de contaminantes se encuentran sustancias disruptoras del sistema endocrino, de allí la importancia que estas sustancias sean reguladas para la preservación de flora y fauna. Debido a que no se tienen registros de valores de PAH en sedimentos de los ríos en Bogotá, es necesario realizar monitoreos e inventario de estos hidrocarburos en los ríos.

Para determinar los valores de PAH en los sedimentos se utilizó una matriz comparativa [ver Tabla 4.33] que muestra para un parámetro los diferentes valores que presentan un riesgo bajo para los ecosistemas acuáticos en Australia, Canadá, Estados Unidos y Francia. Así mismo en esta tabla se muestran los valores propuestos por Uniandes y su justificación. El criterio utilizado para la selección de los valores es que la concentración de las sustancias en los sedimentos no representen un efecto toxico severo en los ecosistemas acuáticos.

Tabla 4.33 Propuesta de objetivos de calidad para PAH

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos													
		Acenafteno	Acenafileno	Antraceno	Fluoreno	Naftaleno	Fenantreno	Benzo-antraceno	Benzo-pireno	Criseno	Fluor-anteno	Pireno	PAH Totales
		µg/Kg B.S.											
EPA [1]				845	536	561	1170	1050	1450	1290	2230	1520	22800
Canadá [Ontario]	Efecto bajo			220	190		560	320	370	340	750	490	4000
	Efecto severo			370	160000		950	1480	1440	460	1020	850	10000
Canadá [Río Lawrence]	No efecto	10	10	20	10	20	30-70	50-100	10-100	100	20-200	20-100	
	Efecto bajo					400	400	400	500	600	600	700	
New York	No efecto			100				40		400			1000
	Efecto bajo			1000				220		2800			35000
Unión Europea [Francia]		5 - 50	5 - 50	5 - 50	5 - 50	5 - 50	5 - 50	5 - 50	0,5 - 5	5 - 50	5 - 50	5 - 50	5 - 50 [4]
Australia	Efecto bajo	16	44	85	19	160	240	261	430	384	600	665	4000
	Efecto severo	500	640	1100	540	2100	1500	1600	1600	2800	5100	2600	45000
Propuesta		10	10	100	20	160	240	40	350		600	50	2000
Justificación		Acorde O.C Canadá, Rio Lawrence	Acorde O.C Canadá, Rio Lawrence	Acorde O.C New York	Acorde O.C Australia y Francia	Acorde O.C Australia	Acorde O.C Australia	Acorde O.C New York	Acorde O.C Canadá, Ontario	Acorde O.C Canadá Ontario y Australia	Acorde O.C Canadá Río Lawrence y Australia	Acorde O.C Francia y Canadá	Acorde O.C New York

4.4.3 Pesticidas organoclorados

En los casos de estudios de ríos urbanos se identifica una gran problemática debido a la presencia de pesticidas en los cuerpos de agua, especialmente los organoclorados. Por lo tanto se propone regular esta clase de pesticidas, ya que contribuyen a la destrucción de los ecosistemas acuáticos. En la Tabla 4.34 se proponen los pesticidas que deben ser regulados y los valores establecidos en Australia, EUA y EPA para estos parámetros. Así mismo en la tabla se muestran los valores propuestos por Uniandes y su justificación. Para la determinación de los valores se utiliza el mismo criterio empleado en PAH.

Tabla 4.34. Propuestas de objetivos de calidad para pesticidas organoclorados y PCB

Sustancia		**Pesticidas Organoclorados**								**PCB**
		Clordano	Dieldrín	Suma DDD[1]	Suma DDE[2]	DDT Totales	Endrin	Heptacloro Epoxi	Lindano	PCB Totales
Unidades		µg/Kg B.S.								
EPA [1]		17,6	61,8	28	31,3	572	207	16	4,99	676
Canadá [Ontario]	**Efecto bajo**	7	2			7	0,5	5	0,2	70
	Efecto severo	6000	91			12	3	500	3	530
Canadá [Río Lawrence]	**No efecto**	1	0,1-0,8				1	1	0,9	20
	Efecto bajo	7	2				8	5	3	200
New York	**No efecto**									100
	Efecto bajo									10000
Australia	**Efecto bajo**	0,5	0,02	2	2,2	1,6	0,02		0,32	23
	Efecto severo	6	8	20	27	46	8		1	
Propuesta		1	0,1	2	2	7	0,2	5	0,3	20
Justificación		Acorde con Canadá, Río Lawrence	Acorde O.C Canadá Río Lawrence	Acorde O.C Australia	Acorde O.C Australia	Acorde O.C Canadá	Acorde O.C Australia	Acorde O.C Canadá	Acorde O.C Canadá y Australia	Acorde O.C Canadá, Río Lawrence

[1] DDD: dicloro difenil dicloroetano
[2] DDE: diclorodifenildicloroetileno

4.4.4 Policloruros de bifenilos [PCB]

Los PCB son clasificados como contaminantes orgánicos persistentes y disruptores del sistema endócrino. Su uso ha sido prohibido en muchos países, sin embargo se han encontrado en los sedimentos de los ríos, afectando la calidad de estos. Se propone regular estos contaminantes, como la suma total de PCB en los sedimentos de los ríos en Bogotá. Para determinar el valor de calidad se comparan los valores establecidos para estos parámetros en los países de referencia, y se escoge el menor valor que no represente peligro para los ecosistemas acuáticos. En la Tabla 4.34 se muestra el valor propuesto por Uniandes.

5. OBJETIVOS DE CALIDAD – HUMEDALES

5.1. Revisión bibliográfica

Con el propósito de determinar los objetivos de calidad para humedales se realizó una revisión bibliográfica de los estándares de calidad de Humedales establecidos en otros países, como Estados Unidos y Unión Europea. Además se revisaron las normas nacionales y distritales asociadas a calidad en los humedales.

5.1.1 Estados Unidos

En la guía **Water Quality Standards for Wetlands National Guidance,** publicado por la Agencia Ambiental de Estados Unidos [EPA] en 1990, se establece que cada estado de este país es el encargado de diseñar los objetivos de calidad para los humedales, a partir de los tipos, funciones[1] y usos definidos a cuerpos de agua superficial.

Los criterios de calidad definidos a los humedales en Estados Unidos pueden ser de tipo narrativo o numérico. Los criterios narrativos son cualitativos e incluyen prohibiciones de sustancias o actividades, que pueden tener un impacto significativo en la integridad biológica del humedal. Los criterios numéricos son valores específicos para parámetros físicos, químicos o biológicos, que han sido creados con el fin de proteger la salud humana y los ecosistemas acuáticos y la vida silvestre. Los valores dependen de las condiciones naturales específicas de cada humedal.

Para el estado de Nebraska, a través del **Nebraska Administrative Code** establecen estándares de calidad tanto para humedales naturales y artificiales [no incluye humedales que son usados como sistema de tratamiento de aguas residuales o para irrigación].

[1] Procesos biológicos, físicos y químicos que ocurren en el humedal y que representan un valor beneficioso para la comunidad y/o ecosistema

Para el establecimiento de los estándares, **Nebraska Department of Environmental Quality,** han clasificado los humedales en dos tipos dependiendo de sus características hidrológicas:

- Humedales de agua superficial **[Surface-Water Overflow Wetlands]**, este tipo de humedales se refiere a los humedales que están conectado o adjuntos a un lago o río sobre periodos regulares.
- Humedales aislados **[Isolated Wetlands]** se refieren a la clase de humedales que no se encuentran conectados a cuerpos de agua superficiales, por lo tanto son alimentados por aguas subterráneas o aguas lluvias.

En Nebraska, los usos que se les pueden dar a los humedales son:

- Protección de la vida acuática: se regulan parámetros convencionales como pH, oxígeno disuelto, amonio, cloruros, conductividad y sustancias tóxicas que no se encuentren en concentraciones que representen un peligro para la vida acuática

- Protección de la vida silvestre: los criterios que se regulan para este uso son los aplicados para protección de la vida acuática. Adicionalmente se establecen criterios biológicos con el fin de evitar cualquier actividad humana que perturbe el uso destinado al humedal.

- Actividades agrícolas: el recurso hídrico es destinado para uso en actividades agrícolas y de ganadería. Los criterios regulados son de tipo narrativo, y prohíben la descarga de residuos o sustancias introducidas directa o indirectamente por actividades humanas en concentraciones que afecten el uso. Adicionalmente se regulan conductividad y selenio con valores de estos en condiciones naturales en un humedal. La conductividad no debe exceder 2000 µomhs/cm del 1 abril a 30 de septiembre y el selenio no debe exceder concentraciones mayores a 0.02 mg/l.

- Uso estético: todos los humedales en Nebraska deben tener un uso estético aceptable, por lo tanto deben estar libres de contaminantes que causen: olores desagradables, sólidos flotantes o material sedimentable y/o eutroficación. Además está prohibida la descarga de escombros y restos de animales en estos cuerpos de agua.

5.1.2 Unión Europea

El Consejo y el Parlamento de la Unión Europea estableció, a través de la directiva **2000/60/CE**, que los humedales, clasificados como cuerpos de agua superficial[2], deberán ser protegidos y usados prudentemente, ya que son de vital importancia para la protección de los recurso hídricos. Por lo tanto los estados miembros deben prevenir futuras degradaciones, preservar y mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos y terrestres presentes en los humedales.

La directiva obliga que los estados deben clasificar los cuerpos de agua superficial según la calidad de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas [estado ecológico], como la composición química y concentración del contaminante [estado químico], para aplicar las medidas necesarias para proteger y mejorar estos cuerpos de agua.

5.1.3 Colombia

El estado colombiano ha ratificado tratados internacionales, especialmente Convenio Ramsar y Convenio de Diversidad Biológica para la protección de los humedales, que compromete al Estado a proteger y recuperar los humedales, y a reconocerlos como áreas naturales que merecen una especial protección por los valores, funciones, productos y tributos que lo caracterizan [Política Distrital de Ambiente, 2006]. Adicionalmente se cuentan con regulaciones para la protección de estos cuerpos de agua:

Mediante la **Ley 165 de 1994**, se aprueba en Colombia el Convenio sobre la Diversidad Biológica, donde el Gobierno se compromete a elaborar estrategias, planes, programas y políticas nacionales para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica en el país. A través de la **Ley 357 del 21 de de enero 1997**, Colombia se adhirió a la Convención de Ramsar, que tiene como misión la conservación y uso racional de los humedales mediante acciones que permitan un desarrollo sostenible de estos cuerpos de agua en el mundo.

[2] Art. 2.10 Masa de agua superficial: una parte diferenciada y significativa de agua superficial, como un lago, un embalse, corriente, río o canal, parte de una corriente, río o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras.

Con la **Resolución 157 de febrero 12 de 2004** del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, reglamentó el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales. En esta norma se estableció que las autoridades ambientales que competen la protección de los humedales, deben elaborar y ejecutar planes de manejo ambientales, bajo los lineamientos fijados por el Ministerio.

5.1.3.1 Bogotá

A nivel Bogotá, a través del Decreto 190 de 2004, se clasificó a los humedales como parques ecológicos distritales, que es definido en la norma como:

"Área de alto valor escénico y/o biológico que por sus condiciones de localización y accesibilidad, se destina a la preservación, restauración y aprovechamiento sostenible de sus elementos biofísicos para educación ambiental y recreación pasiva".

En el Decreto 190 se categorizó los regímenes de uso de los parques ecológicos distritales como: *usos principales, uso compatible y uso condicionado*. Usos principales incluye uso del recurso hídrico del humedal para preservación de flora y fauna; uso compatible se entiende por uso para recreación pasiva y uso condicionado se define como las infraestructuras físicas que puede ser construidos en un humedal, cumpliendo los requisitos técnicos establecidos en el decreto para este fin, como centros de recepción, educación e información, senderos ecológicos, peatonales, con el fin de cumplir el uso principal o compatible destinado al humedal. Así mismo en el decreto se reglamenta que los siguientes usos del recurso hídrico son prohibidos para los parques ecológicos de la capital: *uso agrícola y pecuario, forestal productor, recreación activa, minero industrial de todo tipo y residencial de todo tipo*.

A partir de la Resolución 1813 de 2006 el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente [DAMA], se reglamentó como uso factible del recurso hídrico, el Estético, que se define en el Artículo 28 del Decreto 1594 de 1984 como el uso del agua que contribuye a la armonización y embellecimiento del paisaje. Los criterios de calidad admisibles que deben los humedales cumplir para que sea apto para este uso son los establecidos en el Artículo 44 del decreto 1594 de 1984. Los cuerpos de agua superficial deben estar libres de material flotante y de espumas,

provenientes de actividad humana, grasas y aceites que formen película visible y de sustancias que produzcan olor.

Adicionalmente, el Distrito Capital cuenta con la Política Distrital de Humedales de la Capital, publicado en el 2006 por la Alcaldía de Bogotá y el DAMA, como un instrumento de gestión para la conservación los ecosistemas del humedal, como una parte fundamental para desarrollo sostenible de la ciudad y la región. En la política se establece que los humedales son áreas de especial importancia ecológica y sistemas de áreas protegidas, lo cual hace su conservación de vital importancia para el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad.

Para el desarrollo y gestión de la política se establecen cinco [5] estrategias, que cuentan con líneas programáticas, metas y acciones para cada una. Las estrategias contempladas son:

1. Investigación participativa y aplicada sobre los humedales del Distrito Capital y sus componentes
2. Educación, investigación participativa y aplicada sobre los humedales del Distrito Capital y sus componentes socioculturales
3. Recuperación, protección y compensación
4. Manejo y uso sostenible
5. Gestión interinstitucional

Para el objetivo de este informe se realizó una revisión detallada de las estrategias 3 y 4., que contemplan recuperación y conservación de los humedales.

Estrategia 3, recuperación, protección y compensación: se establecen 5 líneas programáticas: recuperación ecológica (i), protección (ii), evaluación, seguimiento y control (iv), compensación y sostenibilidad hídrica de los humedales (v).

- Recuperación ecológica: la meta de esta línea es asegurar que todos los humedales tengan procesos de descontaminación y recuperación. Por lo tanto, se establece que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá [EAAB] se encargará de diseñar e

implementar sistemas integrados de descontaminación de los humedales del Distrito Capital, como los planes de manejo ambiental, bajo el criterio de conservación y protección de los hábitats para especies amenazadas. El DAMA y entidades distritales vigilarán que las intervenciones de recuperación en los humedales cumplan los criterios establecidos.

- Protección: La meta de esta estrategia es llegar a proteger los humedales de riesgos que pueden alterar las características y funcionalidad ecológicas de los humedales. Para esto, el DAMA deberá formular e implementar mecanismos técnicos para el mejoramiento de la función de los humedales del Distrito Capital, como áreas estratégicas para la recepción de aves. Además el DAMA y la EAAB establecerán e implementará medidas para evitar, mitigar o reparar los daños que se pueden presentar por efectos de obras y proyectos de desarrollo urbanístico de la ciudad.
- Evaluación, seguimiento y control: la meta de esta estrategia es ejecutar los planes de seguimiento y evaluación ambiental de los humedales del Distrito. Por lo tanto, DAMA junto con la EAAB, apoyo académico y de investigación y las comunidades locales, desarrollarán un protocolo de seguimiento y evaluación ambiental de los humedales. El DAMA deberá desarrollar un sistema de seguimiento para control y alerta de los tensionantes de los humedales- La EAAB implementará las acciones oportunas para prevenir, mitigar o reparar los impactos generados por los agentes tensionantes en los humedales.
- Compensación: La EAAB y el DAMA estudiarán la viabilidad de conformar nuevos ecosistemas en los humedales. Estas entidades identificaran los pasivos y activos correspondientes a daños, efectos e impactos causados a los humedales. La meta de la estrategia es aumentar las áreas de los humedales con el fin de compensar el deterioro ambiental y pérdida de extensión.
- Sostenibilidad hídrica de los humedales: la meta de esta estrategia es llevar un manejo hidrodinámico de los humedales en función de la conservación y protección. Por lo tanto, la EAAB implementará medidas de saneamiento hídrico de los ecosistemas, a través de la implementación de tecnología y de infraestructura de la red pluvial con el fin de mantener ciclos eco-hidrodinámicos en los humedales de la Capital.

Estrategia 4 Manejo y uso sostenible: se establecen 4 líneas programáticas: ordenamiento ambiental para los humedales y sus sistemas hídricos (i), planes de manejo ambiental (ii), administración de humedales como aéreas protegidas y uso y manejo sostenible de los humedales en función de la diversidad (iii), patrimonio arqueológico y valor cultural para la ciudad (iv).

- Ordenamiento ambiental para los humedales y sus sistemas hídricos: la meta de esta línea programática es implementar procesos de planificación y ordenamiento del uso y manejo del territorio en los humedales bajo los lineamientos establecidos en el convenio Ramsar. Para este fin, el DAMA y la EAAB definirán criterios científicos-técnicos para la delimitación de áreas de los humedales. La EAAB y el DAMA realizará la gestión necesaria para declarar los humedales como áreas protegidas de dominio público.
- Planes de manejo ambiental: la meta de esta línea es establecer un plan de manejo ambiental formulado y ejecutado de manera participativa para cada humedal. Las acciones contempladas establecen que El DAMA y la EAAB con la participación de comunidades, entidades académicas y de investigación formularán e implementarán los Planes de Manejo Ambientales para los humedales. El DAMA vigilará los contenidos de cada plan, para que estos estén acordes con los requerimientos exigidos.
- Administración de los humedales como áreas protegidas en la ciudad: Las acciones contempladas están enfocadas en garantizar el funcionamiento ecosistémico y potenciales ecológicas de los humedales, a través de control de agentes tensionantes y cerramiento en los humedales por parte de la EAAB. Las comunidades locales y organizaciones sociales administrarán los humedales de acuerdo a los lineamientos que desarrollan el DAMA y la EAAB.
- Uso y manejo sostenible de la diversidad biológica y el patrimonio arqueológico y cultural de los humedales del Distrito Capital: la meta de esta línea programática es usar los humedales de manera sostenible de acuerdo a la diversidad biológica y patrimonio arqueológico y cultural de los humedales.

5.2. Metodología para establecer los Objetivos de Calidad

Para el establecimiento de los objetivos de calidad para humedales en este proyecto se propuso estudiar la evolución de los humedales, en términos de calidad de agua, a lo largo de los últimos años, con el fin de establecer los criterios de calidad para estos cuerpos de agua en un periodo de tiempo. Para esto, se recopiló, a través de la EAAB, SDA, Uniandes, datos de monitoreo históricos medidos en puntos ubicados en la entrada, dentro y en algunos casos en la salida de los humedales del perímetro urbano de la ciudad.

En las siguientes tablas se describe de manera general la información que fue suministrada por la EEAB, la SDA y Uniandes; se presenta el autor del estudio, el año en que se llevo a cabo, los parámetros y humedales que se monitorearon y la ubicación de los puntos en el humedal (entrada, dentro o salida de los humedales). En algunos casos no se contó con la ubicación de los puntos de monitoreo, por lo tanto se supuso que estos correspondían a datos monitoreados dentro del humedal.

Tabla 5.1 Estudios de monitoreo en humedales 1995-2004

Estudio	Año	Parámetros Monitoreados	Humedales monitoreados												Punto de monitoreo		
			El Burro	Capellanía	Conejera	Córdoba	Guaymaral	Jaboque	Juan Amarillo	Memdro de Say	Santa María de Lago	Techo	Tibanica	Torca	La Vaca	Entrada	Dentro	Salida
Deeb Asociados	1995	pH, DBO, DQO, Coliformes fecales, P, N y turbiedad	√	√	√	√	√	√	√			√		√			x[3]	
Consorcio Juan Amarillo	1996	Amonio, Coliformes totales, Conductividad, DBO, DQO, P, Fe, NO_3, O.D, Ph							√								x[3]	
EEI/ Hidrodinámica	1998	Coliformes fecales, DBO, DQO, P, N, O.D, Ph	√	√	√	√						√	√	√	√		x[3]	
GOMEZCAJIAO Y ASOCIADOS CIA	1999	Coliformes fecales, DBO, DQO, Fe, Ph						√									x[3]	
EEI/ Hidrodinámica	1999	Coliformes fecales, DBO, DQO, O.D,				√	√											

[3] No se cuenta con la información de ubicación de los puntos de monitoreo, por lo tanto se considera que el monitoreo se realiza dentro del humedal

		Ph																
DAMA	1999	DQO, OD, SST							√							X		
Chisacá	2001	DBO, DQO, P, N,			√											X	X	X
Salazar	2002	Amonio, coliformes fecales, y totales, conductividad, DBO, DQO, OD, NO_2, NO_3,sulfatos y SST				√											X	
Salazar	2003	Amonio, coliformes fecales, y totales, conductividad, DBO, DQO, OD, NO_2, NO_3,sulfatos y SST				√											X	
Conservación Internacional	2003	A&G, Amonio, Cd, Zn, Cu, Coliformes totales, conductividad, Cr, DBO, DQO P, Fe, Ni, NO_2, NO_3, NTK, O.D, Ph, Pb, SAAM, SST							√							X	X	X
Conservación Internacional	2004	Coliformes totales, DBO, DQO, P, Fe, Ni, NO_2, NO_3, NTK, O.D, pH y SST							√							X	X	X

Tabla 5.2 Estudios de monitoreo en humedales 2004-2007

Estudio	Año	Parámetros Monitoreados	Humedales monitoreados													Punto de monitoreo		
			El Burro	Capellanía	Conejera	Córdoba	Guaymaral	Jaboque	Juan Amarillo	Memdro de Say	Santa María de Lago	Techo	Tibanica	Torca	La Vaca	Entrada	Dentro	Salida
EPSA	2003 2004 2005	Amonio, coliformes totales, conductividad, Cr, DBO, DQO, P, Fe, NO2, NO3, OD, pH, SST							√								X	
EAAB	2004	A&G, alcalinidad, Al, Amonio, Cd, CN, Zn, Cu, Coliformes fecales y totales, Conductividad, Cr, DBO, DQO, fenoles, P Ni, NO2, NO3, NTK, OD,Ph, Pb, SAAM, SD, SS, SST, ST, sulfatos, sulfuros,T, SAAM, Turbiedad	√	√	√		√	√		√	√	√	√	√	√	X		

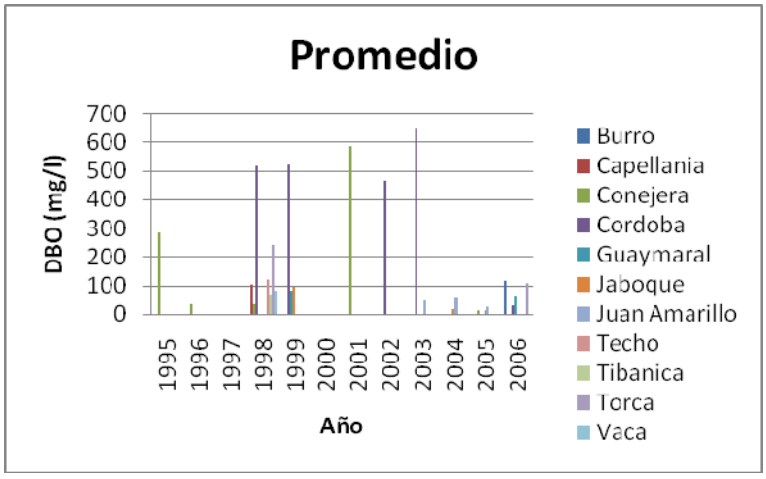
EAAB	2005	A&G, alcalinidad, Al, Amonio, Cd, CN, Zn, Cu, Coliformes fecales y totales, Conductividad, Cr, Cr+6, DBO, DQO, P Ni, NO_2, NO_3, NTK, OD,Ph, Pb, SAAM, SS, SST, sulfatos, SAAM, T, Turbiedad	√	√	√		√	√		√	√	√	√		√	x		
Humedal la Conejera	2005	Coliformes fecales y totales, conductividad, Cr, DBO, DQO, P, NO3, N, Q, pH, Pb, SAAM, Sulfatos, SST			√												x	
Universidad Nacional	2006	Al, Amonio, Cd, Zn, Cu, Coliformes totales, conductividad, DBO, DQO, Fenoles, Fe, N, O.D, Pb, SAAM, sulfatos, SST	√			√			√					√			x	
EAAB	2007	A&G, Amonio, Cd, Cu,Coliformes fecales y totales, Conductividad, Cr, Cr+6, DBO, DQO, E. Coli, Fe, Psoluble, P, Pb, NO_3, NTK, OD,Q SAAM, SST, SSV, ST,sulfatos, SAAM, T, Turbiedad	√	√	√		√	√				√		√	√			

A partir de la información recopilada se diseñó una tabla por cada humedal, de parámetros y concentraciones medidos por año y por estudio en la entrada, dentro y salida del humedal [ver Anexo 5.1, formato digital adjunto al documento]. Cuando una concentración registraba como *No Detectable* en los datos suministrados, este valor fue calculado con el límite de Detección de Laboratorio de EAAB dividido en 2, bajo el supuesto que una concentración que es medida como *No Detectable* no indica que no se encuentre el contamínate dentro del humedal. Con la información obtenida se realizó un manejo estadístico de los datos, se calcularon concentraciones mínimas, máximas y promedios por parámetro monitoreados dependiendo de la ubicación de los puntos en el humedal. En el Anexo 5.2 se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, para monitoreos hechos dentro de los humedales. En los humedales Meandro y Santa María de Lago no se encontraron datos de monitoreo dentro de estos cuerpos de agua.

En las siguientes graficas se presentan los resultados promedio obtenidos para los parámetros que se monitorearon y se proponen regular en los objetivos de calidad en 20 y 40 años para los ríos en Bogotá, ya que se consideran relevantes para la preservación de flora y fauna en un cuerpo

de agua superficial. Se discriminó parámetros que no se tenían datos de mediciones como: Aceites y Grasas, Manganeso, Mercurio, Vanadio y Selenio. Igualmente, no se tuvo en cuenta cianuro, ya que se propone regular como sustancia prohibida para vertimientos en cuerpos de agua; coliformes totales, conductividad y hierro. Además se discriminaron parámetros que no se monitorearon por periodos mayores a un año, ya que no se puede establecer su evolución en los años. Finalmente, los parámetros que se graficaron fueron: DBO, DQO, Nitratos, Nitritos, NTK, N_{total}, O.D., SST, ya que fueron monitoreados por periodos mayores a un año.

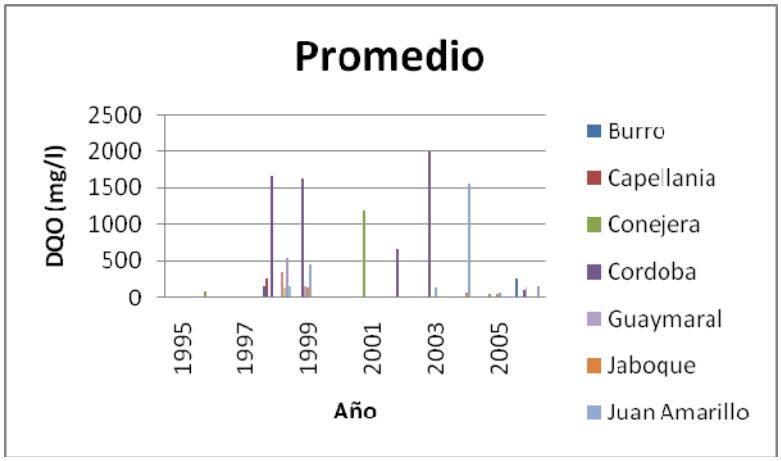
Gráfica 5.1 Valores de DBO de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad



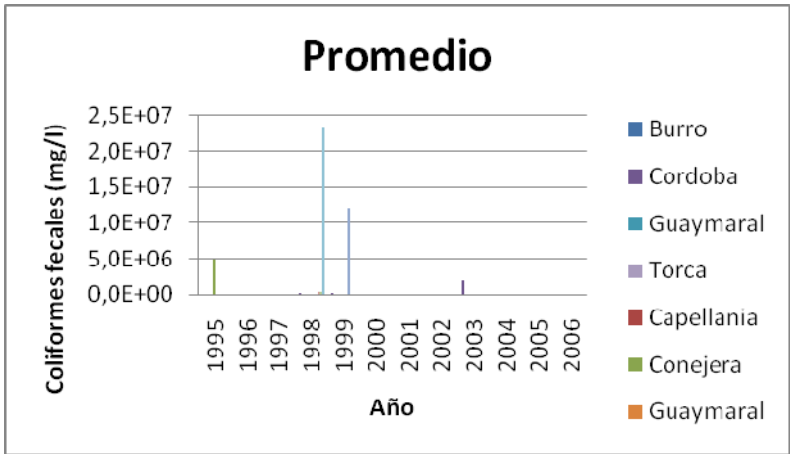
A partir de la grafica se puede incluir que de acuerdo a las concentraciones registradas de 1995 a 2006, los humedales han disminuido las concentración de materia orgánica.

Acorde con la gráfica 5.2, se han registrado en los humedales concentraciones extremadamente altas de DQO, especialmente Conejera y Córdoba para 1998-1999 y 2003, respectivamente. Sin embargo la gráfica demuestra una tendencia de reducción de DQO en los humedales, observándose un promedio de DQO para el 2006 de 250 mg/l aproximadamente.

Gráfica 5.2 Valores de DQO de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad



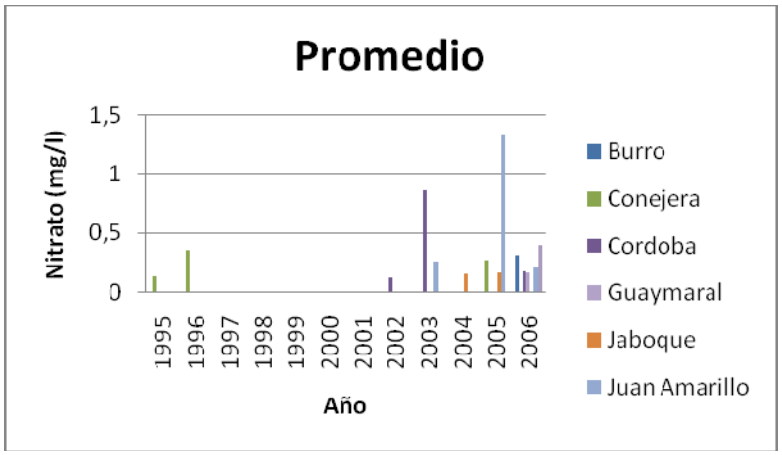
Gráfica 5.3 Valores de coliformes fecales de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad



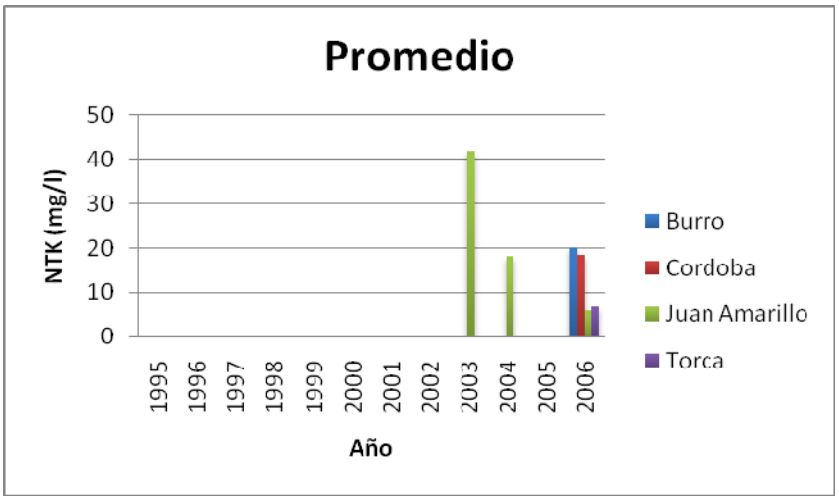
No se puede establecer una evolución de coliformes fecales debido a que en 1998 se presenta un pico en el humedal de la Vaca, lo cual hace insignificativo los datos de otros humedales. No se tiene muchos datos de concentraciones de este parámetro en los humedales.

En la gráfica 5.4 se muestra que los nitratos no han variado de 2004 a 2006. Juan Amarillo muestra un pico en el 2005, posiblemente este punto está ubicado en la entrada del humedal. En el 2006 para este humedal se registraron concentraciones más bajas.

Gráfica 5.4 Valores de Nitrato de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad



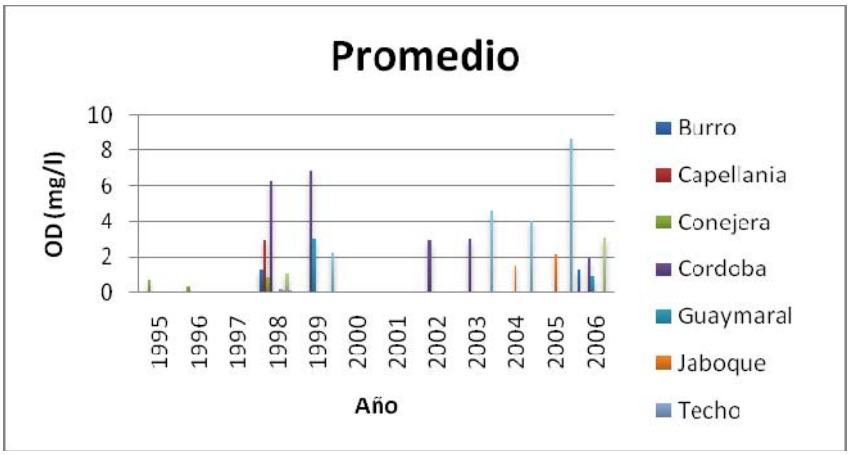
Gráfica 5.5 Valores de NTK de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad



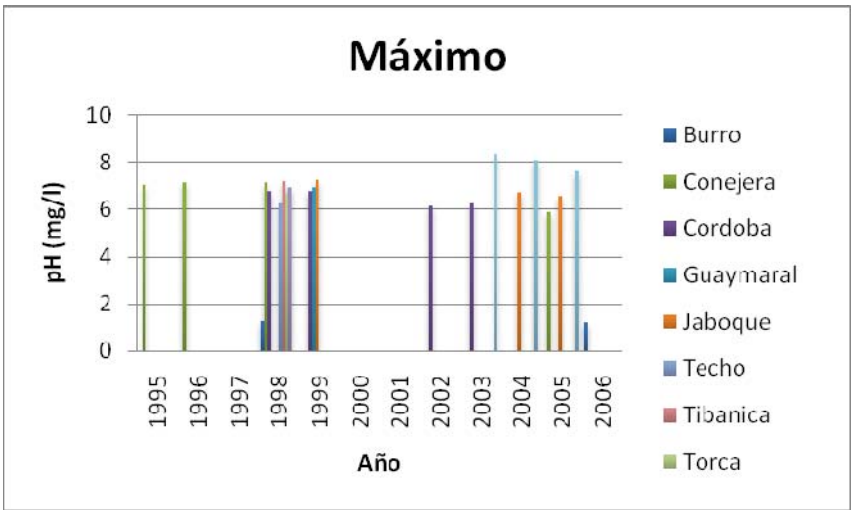
De acorde a la gráfica 5.5 se puede inferir que Juan Amarillo ha mostrado una reducción considerable de NTK. No se tienen valores históricos para los otros humedales. De igual forma a partir de la gráfica 5.6 no se puede inferir una tendencia de evolución de los humedales en O.D., debido a la alta variación de los datos.

En la gráfica 5.7 se observa valores de pH son relativamente constante a lo largo del tiempo. Para 1997 y 2006, se presentaron pH muy bajos en las entradas del humedal de Burro.

Gráfica 5.6 Valores de OD de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad

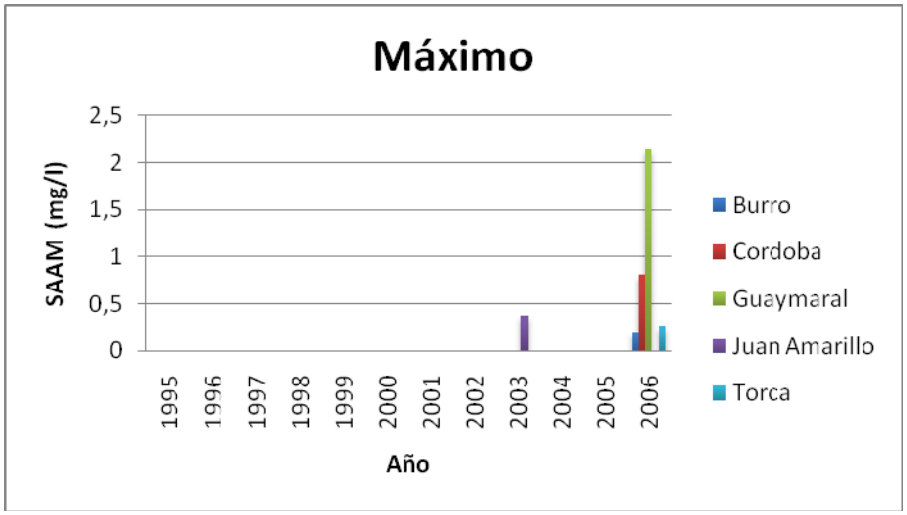


Gráfica 5.7 Valores de pH de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad

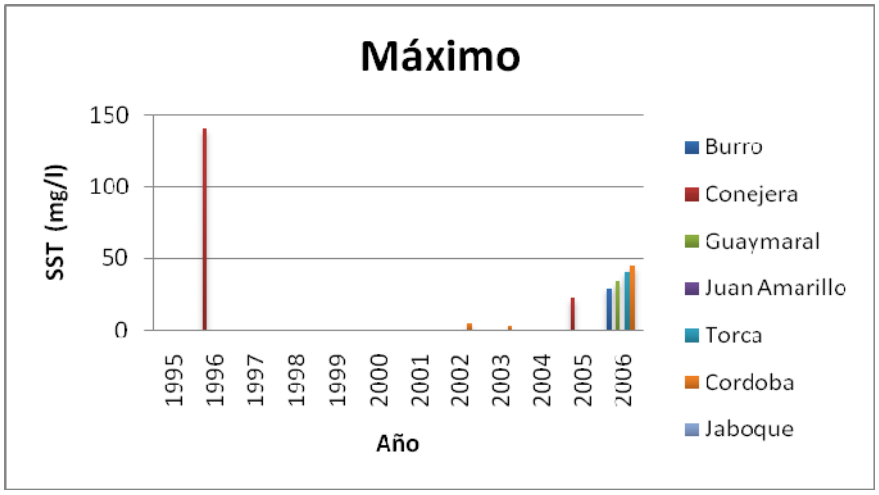


De la gráfica 5.8 no se puede inferir una evolución de los humedales con respecto a SAAM ya que tan solo se cuenta con pocos datos, los cuales fueron monitoreados en 2 años [2003 y 2006]. En la gráfica 5.9, solo se cuentan con concentraciones de 2006 para la mayoría de los humedales. Lo cual dificulta predecir el cambio de la concentración de SST con respecto al tiempo.

Gráfica 5.8 Valores de SAAM de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad



Gráfica 5.9 Valores de SST de 1995 a 2006 en algunos humedales de la ciudad



A partir de las gráficas anteriores, no se puede determinar cómo han evolucionado los humedales con el tiempo, ya que no se cuentan con valores de parámetros medidos continuamente a lo largo de los años dentro de los humedales. Los puntos de monitoreo han variado en los años, no se tiene certeza de que las campañas se hayan realizado dentro de los humedales. Por lo tanto, no se pude predecir la calidad de los humedales en el futuro, ni como esto afectará el funcionamiento de los humedales como sistema de protección y hábitats de reproducción de biota, reptiles y mamíferos,

muchos de ellos endémicos de la Sabana, ni con las formaciones de flora, que sostiene en los ambientes acuáticos.

En la revisión bibliográfica realizada y a partir de discusiones con expertos en humedales de la ciudad, se concluye que por ahora no se puede establecer cuáles son los criterios de calidad para poder preservar la flora y fauna en los humedales. No se tiene un modelo de calidad en los humedales que prediga como una mejora en la calidad del agua afecta los ecosistemas que habitan en los humedales. Por lo tanto se propone NO establecer los objetivos de calidad a los humedales de la ciudad, porque no conoce claramente el funcionamiento fenomenológico de los humedales de la ciudad. Por ahora lo único a proponer es la aplicación de parámetros asociados a uso estético, hasta que se puede conocer en más detalle:

- La variabilidad de la calidad del agua dentro de los humedales
- El efecto que en términos ecológicos pueda tener la variación en la calidad del agua

Se recomienda que la SDA vigile y haga cumplir las acciones establecidas en la política de los humedales, que tienen con el fin de sanearlos y conservarlos para que mejoren su funcionalidad de preservación de especies endémica en la región.

Se sugiere que los puntos de monitoreos en los humedales sean unificados, y se empiecen a manejar una base de datos de los resultados, para así poder estudiar evolución de los humedales. Por lo tanto, se recomienda que se midan los siguientes parámetros en los puntos de entrada y salida de los humedales, con la frecuencia establecida, con campañas de mediciones en tiempo seco y húmedo.

Tabla 5.3 Parámetros recomendados para monitorear entrada y salida humedales

Entrada y salida del humedal	
Parámetro	**Frecuencia [Veces/año]**
Aceites y grasas	2
SST	4
DBO	4
DQO	4
Coliformes fecales	4

E. Coli	2
Cadmio	2
Cinc	2
Cobre	2
Cromo total	2
Níquel	2
Plomo	2
Fósforo reactivo soluble	4
Nitratos	4
NTK	4
Tensoactivos [SAAM]	2
Hidrocarburos	2
Cianuro	-
Fenoles totales	4

En el espejo de agua de los humedales se recomienda medir los siguientes parámetros, trimestralmente: Coliformes fecales, Conductividad, COT, clorofila, DBO, disco Secchi, Fósforo reactivo soluble, Fósforo total, Nitratos, NTK, pH. Adicionalmente se sugiere que se monitoree en sedimentos: demanda béntica, arsénico, cadmio, cinc, cromo, mercurio y plomo.

Para cada humedal se propone los puntos de monitoreo que se deben medir en la entrada, salida y dentro del cuerpo de agua del humedal, y como se debe tomar la muestra, acorde con discusiones con expertos en los temas de humedales en la ciudad.

Tabla 5.4 Puntos y características de monitoreo en la entrada, salida y dentro del humedal

Humedal	Monitoreo									
	Entrada		Dentro				Salida		Sistema de tratamiento	
			Cuerpo de agua		Sedimentos					
	N. punto	Carac. Muestra	N. punto	Tipo Muestreo	N. puntos	Tipo Muestreo	N. punto	Tipo Muestreo	N. punto	Tipo Muestreo
Burro	2	Canal Castilla y colector,	2	Puntuales			1	Canal Tintal, integrada	1	Puntual, posible Sistema de tratamiento
Capellanía	2	Puntual, Entrada Fontibón	2	Puntuales, a cada lado de la avenida la Esperanza	2	Puntual	1	Puntual		
Conejera	3	Salitrosa, Afidro y Mercedes. Compuesta 2 horas	3	Integrada 4 puntos	3	Integrada 4 puntos	2	Puntual		

Cordoba	4	3 canales y 1 colector	4	Integrada 4 puntos	2					
Guaymaral	2	Entrada Guaymaral paso autopista	1	Puntual	1	Puntual	1	Canal Guaymaral		
Jaboque	6	Compuesta 2 horas	4	Integrada 4 puntos	-		1	Compuesta 2 horas		
Juan Amarillo	6	Compuesta 2 horas	6	Integrada 4 puntos	6	Puntuales	1			
La vaca	1		2	Integrada	1	Integrada en 4 puntos	1			
Meandro del Say	1	Puntual	2	Puntual	1	Puntual	1	Puntual		
Santa Maria de Lago	2	Compuesta 2 horas	2	Integrado 4 puntos, conductividad y clorofila	2	Puntuales	-			
Techo	1		2	Integrada espacial por 4 puntos	1		-			
Tibanica	1	Canal Tibanica	3	integrada 4 puntos	-		1			
Torca	3	Quebradas [Aguas calientes, San Juan y Patiño], puntual	1	Puntual	1	Puntual	1	Paso autopista, puntual		
Vaca	1	Puntual	2	Integrado 4 puntos	2	Integrado 4 puntos	1	Puntual	2	Laguna y humedal artificial, Integrado 2 puntos espacialmente. Tomar 1muestra de sedimentos

6. SUSTANCIAS DE INTERÉS

En la revisión bibliográfica realizada se identificaron sustancias prioritarias introducidas por la actividad humana directa o indirectamente al medio ambiente, perjudiciales para la salud y la calidad de los ecosistemas, y que pueden ser detectadas en los cuerpos de agua superficial. A través de estudios rigurosos de monitoreo en los cuerpos de agua, estudios epidemiológicos y de ecotoxicidad han sido identificadas las características de toxicidad, persistencia o bioacumulación de estas sustancias o grupos de sustancias en otros países. En países como Francia y Australia han incluido valores numéricos para regular estas sustancias dentro de los objetivos de calidad del recurso hídrico para preservación de flora y fauna, siendo conocidas como prioritarias, peligrosas o de interés.

En este proyecto se propone regular sustancias de interés en la Resolución de Objetivos de Calidad para 4 y 10 años para los cuerpos de agua superficial en Bogotá, de forma narrativa, con el fin de reducir, interrumpir o suprimir progresivamente sus usos, sus vertidos, emisiones de dichas sustancias. Esto con el fin de lograr su eliminación total y contribuir a conseguir concentraciones en los cuerpos de agua en 40 años cercanas a los valores básicos naturales, de acuerdo a la propuesta de objetivos de calidad del recurso hídrico para este periodo, preservación de flora y fauna.

6.1. Metodología para establecer sustancias de interés

A partir de la experiencia internacional y las sustancias de interés identificadas en el Decreto 1594 de 1984, se estableció la lista de sustancia de interés, las cuales se obtuvieron de diferentes listas tales como:

- Parámetros de microcontaminantes y pesticidas regulados en Francia, para clase de equilibrio biológico [Preservación de flora y fauna], establecidos en Sistema de Evaluación de la Calidad del Agua, **SEQ-Eau** [ver Anexo 2.3].

- La guía de toxicidad de Australia para preservación de flora y fauna en los cuerpos de agua [**Environment Protection (Water Quality) Policy and Explanatory Report 2003**] [ver Anexo 2.1]
- Listado de sustancias prioritarias establecidas por la Agencia Ambiental de Estados Unidos [EPA] [ver Anexo 6.1] en **The federal Clean Water Act (CWA)**, actualizada en el 2008. Estas sustancias han sido escogidas a partir de estudios de ecotoxicología.
- Listado de sustancias prioritarias de la Unión Europea, en su **Directiva 2000/60/CE**. [ver Anexo 6.2] .Las sustancias son establecidas a través de evaluación científica de riesgo.
- Sustancias de interés sanitario establecidos en el **artículo 20 del Decreto 1594 de 1984** [ver Anexo 6.3].

A partir de la información consultada se diseñó una matriz comparativa de las sustancias propuestas en el Decreto 1594 de 1984 y las sustancias reguladas en otros países y que no estaban incluidas en este decreto. Para cada sustancia o grupo de sustancias a regular se identificaron los usos antropógenicos y los efectos que tiene para la salud y medio ambiente. Para determinar los usos y efectos se consultó los estudios epidemiológicos, ecotoxicología, cancerogenicidad y otros efectos tóxicos de las siguientes Agencias:

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry
EPA: Environmental Protection Agency
IARC: International Agency for ReseaRCHB Cancer

Adicionalmente, se consultó el informe **BKH Consulting Engineers, Towards the Establishment of a priority list of substances for further evaluation of their role in endocrine disruption,** para la Comisión Europea , donde se identifican posibles sustancias disruptoras del sistema endocrino.

Las sustancias propuestas se caracterizan por hallarse evidencias o tener algunas de las siguientes características:

- Cancerígenas o posiblemente cancerígenas para los humanos

- Posibles disruptoras del sistema endocrino, es decir sustancias químicas capaces de alterar el sistema hormonal y ocasionar diferentes daños en la salud de hombres y mujeres
- Afectan alguno de los siguientes sistemas y/o órganos: nervioso, hígado, riñones
- Altamente tóxicas para los ecosistemas acuáticos
- Biocumulan en la cadena alimenticia
- Persistentes

Existen grupos de sustancias que involucran conjunto de sustancias que pertenecen al mismo grupo funcional químico, y que se regulan en las fuentes bibliográficas consultadas. Por simplicidad se propone regular los grupos de sustancias. En tablas adicionales se especifican las sustancias que corresponden a estos grupos [ver Anexo 6.4].

Algunas sustancias identificadas de interés en el Decreto 1594 de 1984, no se incluyeron en la lista [ver Tabla 61.], ya que no se reportó en las fuentes bibliográficas consultadas, evidencias de presentar:

- Efectos en la salud o que estos no han sido relevantes para regular
- Información relevante de los efectos tóxicos en el medio ambiente
- Usos en actividades antropógenicas

Igualmente, se discriminaron sustancias que se propone regular en la norma de vertimientos a cuerpos de agua y/o alcantarillado [ver tabla 6.2].

Tabla 6.1 Lista de sustancia de interés discriminadas del Decreto 1594 de 1984

Sustancia NO reguladas	Justificación
9, 10 - Acido dicloroesteárico	No información acerca de efectos y usos
9, 10 - Acido epoxisteárico	No información acerca de efectos y usos
Acido linolénico	No información acerca de efectos salud y medio ambiente
Acido linoleico	No información acerca de efectos y usos
Acido monoclorodehidroabiético	No información acerca de efectos y usos
Acido oleico	No información acerca de efectos salud y medio ambiente
Tetraclorguayacol	No información acerca de efectos y usos
3,4,5 - Tricloroguayacol	No información acerca de efectos y usos
Acido diclorohidroabiético	No información acerca de efectos y usos
Acido pimárico	No información acerca de efectos salud y medio ambiente
Acido abiético	No información acerca de efectos salud y medio ambiente
Acido isopimárico	No información acerca de efectos salud y medio ambiente
Acroleína	Poca información de los efectos que produce
1, 2 - Difenílhidracina	No se han evidenciados riesgos para la salud en los humanos, se descompone fácilmente
Etano	No información acerca de efectos y usos
Hexaclorociclopentadieno	EPA ha identificado que esta sustancia no tiene un riesgo significativo sobre la salud
Vanadio	Se propone regular en O.C para 20 y 40 años

Tabla 6.2 Lista de sustancia de interés propuestas a ser reguladas en norma de vertimiento

Sustancias NO reguladas	
Antimonio	Mercurio
Arsénico	Níquel
Bario	Plata
Benceno	Plomo
Cadmio	Selenio
Cobre	Cromo
Compuestos fenólicos	

6.2. Lista de sustancias de interés

En las siguientes tablas se muestran las sustancias propuestas a regular. Para cada sustancia o grupo de sustancia se muestran sus usos y los efectos potenciales negativos que generan al medio ambiente y/o a la salud, de acorde a la revisión bibliográfica realizada. Igualmente se comparan en que países se han identificado como prioritaria. Cuando se establecen grupo de sustancias, se identifican con un superíndice 1 en el nombre del grupo, lo cual indica que en anexo 6.4. se identifican que sustancias pertenecen a este grupo. Nuevas sustancias que no se incluyen en el Decreto 1594 de 1984 se resaltan en negrilla.

Tabla 6.3 Propuesta de sustancias de interés parte 1

Sustancia	Uso	EFECTOS TÓXICOS	Decreto 1594/1984	Sustancia prioritaria		Objetivos de calidad	
				UE	EPA	Australia	Francia
Acrilonitrilo	Fabricación de plástico, goma sintética y fibras acrílica	Se han observado disminución de fertilidad y defectos de nacimiento en algunos animales de laboratorio	X				
Asbesto (polvo y fibras)	Materiales de construcción	Cancerígeno para los humanos, (Grupo 1, IARC),	X		X		
Benceno	Solventes orgánico volátil y producción de compuestos químicos	Cancerígeno para los humanos (Grupo 1, IARC)	X	X		X	X
Bencidina	Fabricación de colorantes para telas	Cancerígeno para los humanos (Grupo 1, IARC),	X		X		
Berilio y compuestos de berilio	Industrias eléctricas, aeroespaciales, fabricación de armas de fuego	Cancerígeno para los humanos, (Grupo 1, IARC), tiende a sedimentarse, tóxicos para la vida acuática	X		X		
Bifenil policlorados [1]	Refrigerantes, lubricantes en transformadores, equipos eléctricos como condensadores	Compuesto persistente, disruptor del sistema endocrino	X				
C_{10-13}cloroalcanos	**Aditivo en la fabricación del caucho e industria metalúrgica**	**Sustancia extremadamente toxica para los ecosistemas acuáticos**		**X**			**X**
Carbamatos	Insecticida	Disruptor del sistema endocrino	X				
Cianuro	Industria plástica, fertilizantes y metalmecánica	Se ha evidenciado tener efectos adversos en el sistema nervioso y tiroides.	X		X		X

Tabla 6.4 Propuesta de sustancias de interés parte 2

Sustancia	Uso	EFECTOS TOXICOS	Decreto 1594/1984	Sustancia prioritaria		Objetivos de calidad	
				UE	EPA	Australia	Francia
2 - cloroetil vinil éter [mezclado]	Fabricación de analgésicos, sedantes y éteres celulosa	Compuesto persistente, se biocumula en los organismos acuáticos	X				
Cloruro de trifenilestaño	Biocida en productos intermedios, repelente de roedores, fungicida e insecticida.	Afecta el sistema nervioso					X
Compuestos de tributil estaño [tributiltín][1]	**Biocida en la preservación de: la madera y telas de algodón**	**Disruptor del sistema endocrino en organismos acuáticos, se bioacumula**		**X[2,6]**		**X**	**X**
Cloruro de vinilo [Cloroetileno]	Fabricación de plásticos y cloruro de polivinilo [PVC]	Cancerígeno para los humanos [Grupo 1, IARC]	X		X		
Cloroformo [triclorometano]	solvente químico, para la producción de refrigerantes, plásticos y sustancias farmacéuticas como sustancia intermediaria	Posible sustancia cancerígena para los humanos [Grupo 2B, IARC]	X	X			X
Cresoles[1]	**disolvente, desinfectantes, perfumes, agentes conservantes o herbicidas**	**Presenta los mismos síntomas tóxicos que los fenoles, se disuelven muy lentamente en el agua**	**X**				
Cromo hexavalente	Subproductos de procesos industriales, cromado, en tinturas y pigmentos, curtido de cuero y para preservar madera.	Se bioacumula, cancerígeno para los humanos [Grupo 1, IARC], Puede tener efectos inhibitorios en organismo heterótrofos	X				
3, 3 Diclobencidina	Tinta de imprenta, textiles, plásticos y esmaltes, pintura, cuero y goma.	Teratogénico	X		X		

Tabla 6.5 Propuesta de sustancias de interés parte 3

Sustancia	Uso	EFECTOS TOXICOS	Decreto 1594/1984	Sustancia prioritaria		Objetivos de calidad	
				UE	EPA	Australia	Francia
Diclorometano	En la industria farmacéutica, concretamente para la fabricación de esteroides, antibióticos, y vitaminas, desengrasantes	Posible sustancia cancerígena para los humanos (Grupo 2B, IARC).		X		X	
Dicloroetilenos[1]	Sustancia intermediaria en la síntesis de metilcloroformo y producción de plásticos (PVC)	Tóxicos para los humanos, la EPA lo ha clasificado como posible cancerígeno para los humanos	X				
Dicloropropano y Dicloropropeno[1]	Fabricación de otras sustancias cloradas, se utilizaba como agente activo para la elaboración de pesticidas y fumigantes	Incluye grupos de sustancias que pueden dañar los riñones y el hígado	X				
Di(2etilhexil)ftalato (DEHP)	Fabricación de plásticos	Sustancia disruptora del sistema endocrino		X			
Difeniléteres bromados	Retardante de llamas en tejidos, plásticos, espumas y componentes eléctricos y electrónicos para prevenir o retardar la propagación de las llamas.	Persistentes en el medio ambiente		X			
2,4 - Dimetilfenol	Fabricación de fenoles oxidantes	Altamente soluble en agua,	X		X		
Dinitrotolueno[1]	Producción espumas, la industria del mueble y en la de los colchones.	Evidencias existen que la exposición a este grupo de sustancias perjudica el sistema nervioso y la sangre	X				
Dioxinas y furanos	**Subproductos de procesos industriales, proceso de combustión de compuestos organoclorados**	**Incluye sustancias que son cancerígeno para los humanos, (Grupo 1, IARC), disruptor del sistema endocrino**					

Tabla 6.6 Propuesta de sustancias de interés parte 4

Sustancia	Uso	EFECTOS TOXICOS	Decreto 1594/1984	Sustancia prioritaria		Objetivos de calidad	
				UE	EPA	Australia	Francia
Etilbenceno	Fabricación de sustancias químicas (estirenos), solventes	Posible a ser cancerígeno para los humanos (Grupo 2B, IARC)	X		X	X	
Fenoles clorados[1]	Persevante de la madera	Disruptores del sistema endocrinos	X				
Ftalato esteres[1]	Producción de plásticos para hacerlos más flexibles	Disruptores del sistema endocrinos	X				
Formaldehído	**Pegamento de madera, jabones, industria química**	**Cancerígeno para los humanos (Grupo 1, IARC)**			**X**		
Haloéteres	Solventes para el proceso de fibras, medicina, resinas de intercambio iónico, pesticidas y polímeros	Tóxicos para ecosistemas acuáticos en [ ] bajas	X		X		

Tabla 6.7 Propuesta de sustancias de interés parte 5

Sustancia	Uso	EFECTOS TOXICOS	Decreto 1594/1984	Sustancia prioritaria		Objetivos de calidad	
				UE	EPA	Australia	Francia
Halometanos[1]	fabricación de plásticos, solventes y refrigerantes	Tóxicos para los ecosistemas acuáticos y los seres vivos	X				
Hexaclorociclohexano[1] (todos los isómeros)	Plaguicida	Posible sustancia cancerígena para los humanos (Grupo 2B, IARC), produce efectos adversos en el hígado y riñones	X	X			X
Hexaclorobutadieno	**Fabricación de materiales de caucho, solvente, lubricantes, como líquido intercambiador de calor y fluido dieléctrico**	**Persistente, se bioacumula en la cadena alimenticia**		**X**	**X**	**X**	**X**
Hidrocarburos aromáticos polinucleares[1,6]	**Medicinas, tinturas y pesticidas.**	**La mayoría de sustancias que corresponden a este grupo son disruptores endocrinos**		**X**			x
Isoforón	Solvente para aceites, grasas, caucho y resinas sintéticas	En animales se ha evidenciado que esta sustancia produce problemas de crecimiento	X				
Mercurio Orgánico	Agricultura	Metilmercurio es posible que sea cancerígena para los humanos (Grupo 2B, IARC). Se bioacumula en la cadena alimenticia	X				
Naftaleno	Insecticidas y producto intermediario en la producción de solventes lubricantes y aceites para motores	Disruptor endocrino. Esta sustancia es posible que sea cancerígena para los humanos (Grupo 2B, IARC)	X	X	X		

Tabla 6.8 Propuesta de sustancias de interés parte 6

Sustancia	Uso	EFECTOS TOXICOS	Decreto 1594/1984	Sustancia prioritaria		Objetivos de calidad	
				UE	EPA	Australia	Francia
Naftalenos clorados[1]	Aditivos en la industria de eléctrica y electrónica	Altamente toxico para la vida acuática, ha sido evidenciado de ser disruptor del sistema endocrino	X				
Nitrofenoles[1]	fabricación de tinturas para el cuero, pigmentos, productos de caucho y pesticidas	Toxico para los ecosistemas acuáticos	X				
Nitrosaminas[1]	Producción de caucho y pesticidas	Incluye un grupo de sustancias que se han evidenciado ser toxico para los peces	X				
Nonilfenoles[1]	**Producción de detergentes**	**Sustancia persistente, disruptor endocrino**		**X**			**X**
Octilfenoles	**Producción de detergentes**	**Disruptor endocrino**		**X**			**X**
Pesticidas y metabolitos	Pesticidas	Se biocumula y son persistente	X				
Tetraclorometano (Tetracloruro de Carbono)	líquido refrigerante, propulsor de aerosoles, como plaguicida, como agente para limpiar y desgrasar, en extintores de fuego y para remover manchas	Posible cancerígeno para los humanos	X		X	X	
Tetracloroetileno	lavado en seco de telas al seco y como desegrasante de metales, en fabricación de pesticidas	Esta sustancia es probable a ser cancerígenas para los humanos (Grupo 2A, IARC).	X	X	X		
Tricloroetileno	Solvente para remover grasas de partes metálicas, fabricación de adhesivos, removedor de pinturas, tinturas	Esta sustancia es probable que sea cancerígena para los humanos (Grupo 2A, IARC)	X	X	X		X
Tolueno	Fabricación de pinturas, en procesos de imprenta y curtido de cuero.	Afecta el sistema nervioso	X		X		X

Para cada grupo se determinaron sustancias de interés significativas, es decir que se han encontrado en otros estudios y que deben ser eliminadas, igualmente se muestra los países donde son regulados. Existen algunas sustancias que no se han regulado en otros países, sin embargo hacen parte del grupo a regular.

La lista final de sustancia de interés propuesta en este proyecto se presenta en la Tabla 7.23. Debido a que la lista se diseñó a partir de información secundaria, es importante que la SDA monitoreé la presencia de las sustancias de interés en los cuerpos de agua de la ciudad, ya que no se tiene un registro histórico y actual de la presencia en los ríos y se desconoce si algunas de estas sustancias se encuentran en los cuerpos de agua superficial en Bogotá. De igual forme se recomienda realizar un inventario de usos de las sustancias en la ciudad, para así establecer responsables de la generación de estas sustancias y poder crear políticas con el fin de eliminar los vertimientos de estas a los cuerpos de agua. También, se recomienda que se haga un estudio más detallado de los efectos ecotoxicológicos de las sustancias, para que se establezcan valores numéricos y se regulen tanto en futuras normas de vertimientos a cuerpos de agua y en los objetivos de calidad para el uso del recurso hídrico en preservación de flora y fauna.

7. OBJETIVOS DE CALIDAD – RESOLUCIÓN

Con el fin de facilitar el monitoreo, seguimiento y cumplimiento de los parámetros de calidad para los ríos de la ciudad, sólo se incluirán 10 parámetros [Tabla 7.1] de los objetivos de calidad propuestos a 4 y 10 años en la Resolución que modificaría la Resolución 1813 de 2006. Es de interés de la SDA que los objetivos para los siguientes 20 y 40 años, explicados en el capítulo anterior, aun cuando no aparezcan en la futura resolución, sean utilizados a nivel interno de la institución, como referentes técnicos.

Los parámetros que deberían ser regulados en la Resolución se escogieron teniendo en cuenta la Resolución 1813, excluyendo sólidos flotantes, temperatura y olores agresivos ya que son difíciles de monitorear o no presentan relevancia para la calidad de los cuerpos de agua. Adicionalmente se propone incluir: aceites y grasas, coliformes fecales y detergentes [SAAM] y aquellos parámetros que pueden ser utilizados en el modelo de calidad del agua QUAL2K, estos son: DQO, nitrógeno total y fósforo total.

Tabla 7.1. Parámetros a regular - Resolución

PARÁMETRO	
Oxígeno disuelto	Tensoactivos (SAAM)
DBO	DQO
Fósforo total	pH
Nitrógeno total	SST
Coliformes fecales	Grasas y aceites

Se adoptan los tramos establecidos en la Resolución 1813 excepto en Torca. Con los datos obtenidos de la RCHB este río se dividió en dos tramos, ya que la calidad del agua cambia considerablemente después de la estación de Makro [ver Tabla 7.2].

Tabla 7.2. Propuesta de objetivos de calidad a 4 años - Resolución

Cuenca	Tramo	Límites	
		Desde	Hasta
Rió Torca	1	Entrada Jurisdicción DAMA	Makro
	2	Makro	Salida Jurisdicción DAMA
Río Salitre	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª
	2	Carrera 7ª	Carrera 30
	3	Carrera 30	Avenida 68
	4	Avenida 68	Desembocadura
Río Fucha	1	Entrada perímetro urbano	Carrera 7ª
	2	Carrera 7ª	Desembocadura Canal Comuneros
	3	Desembocadura Canal Comuneros	Av. Boyacá
	4	Av. Boyacá	Desembocadura
Río Tunjuelo	1	Entrada perímetro urbano	Desembocadura Quebrada Yomasa
	2	Desembocadura Quebrada Yomasa	Av. Boyacá
	3	Av. Boyacá	Autopista Sur
	4	Autopista Sur	Desembocadura

A partir de los parámetros seleccionados por la SDA y los valores establecidos por Uniandes, se realizó una propuesta de resolución inicial de objetivos de calidad para los cuerpos de agua de la ciudad para 4 y 10 años [Tabla 7.3 y 7.4]. Sin embargo, los objetivos de calidad fueron reevaluados con el fin de mejorar progresivamente la calidad del agua de los ríos en Bogotá, tomando diferentes escenarios en los cuales se incluyan obras de saneamientos diferentes a las propuestas en el PSMV.

Para establecer los nuevos objetivos de calidad para los próximos 4 y 10 años se realizó una nueva modelación en QUAL2K, para los ríos creándose seis [6] nuevos escenarios, con el fin de escoger el mejor escenario de saneamiento para cada tramo de río acorde con un periodo de 4 y 10 años. Cada escenario se estableció en función de la eliminación de las descargas directas del río, operación de alivios en tiempo seco o tiempo húmedo y funcionamiento de canales con aguas lluvias o aguas residuales. Para todos los escenarios se consideró un saneamiento de las quebradas de Bogotá D.C., estableciéndose la calidad con un flujo base de características típicas de aguas naturales antes de entrar al perímetro urbano de la ciudad. Esta condición aplica para el Río Tunjuelo en donde se han identificado descargas de quebradas. En las tablas 7.5 y 7.6 se presenta una descripción y resumen de las características consideradas para cada escenario.

Tabla 7.3. Propuesta inicial de objetivos de calidad a 4 años – Resolución

Objetivos de Calidad - 4 años															
Parámetro	**Unidades**	**Río Salitre**				**Río Fucha**				**Río Tunjuelo**				**Canal Torca**	
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2
Coliformes fecales	NMP/100mL	1×10^5	1×10^7	2×10^7	2×10^7	1×10^3	9×10^6	2×10^7	5×10^7	1×10^3	5×10^6	1×10^7	2×10^7	1×10^5	1×10^6
DBO	mg/L	5	150	150	150	2	150	250	300	2	100	100	150	30	200
DQO	mg/L	35	400	400	400	25	350	450	700	40	300	300	700	60	500
Fósforo	mg/L	1	8	10	10	0,1	8	10	13	0,7	9	6	10	3	8
Grasas y Aceites	mg/L	10	40	40	40	10	25	60	100	40	35	35	100	80	150
Nitrógeno total	mg/L	5	40	45	45	2	30	50	55	2,5	35	40	60	7	60
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 7	≥2	≥0	≥0	≥7	≥0	≥0	≥0	≥5	≥0	≥0	≥0	≥ 3	≥ 0,5
pH	unidades	5 – 9				5 – 9				5 – 9				5 - 9	
SAAM															
SST	mg/L	30	150	200	100	8	200	200	250	8	400	400	400	130	250

Tabla 7.4. Propuesta inicial de objetivos de calidad a 10 años – Resolución

Objetivos de calidad - 10 años			
Parámetro	**Unidades**	**1er Tramo**	**2do, 3ro y 4to Tramo**
Coliformes fecales	NMP/100mL	100	
DBO_5	mg/L	5	15
DQO	mg/L	25	25
Fósforo total	mg/L	0,1	0,6
Grasas y Aceites	mg/L	7	7
Nitrógeno total	mg/L	1,5	10
Oxígeno disuelto	mg/L	8	4
pH	unidades	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
SAAM	mg/L	0,5	0,7
SST	mg/L	10	55

Tabla 7.5 Descripción escenarios de modelación

Escenario	Descripción
1a	Vertimientos de descargas directas al río urbano No operación de alivios en tiempo seco Vertimientos de canales con calidad de agua actual Saneamiento en las Quebradas
1b	Vertimientos de descargas directas al río urbano No operación de alivios en tiempo seco Vertimientos de canales con calidad de agua lluvia Saneamiento en las Quebradas
2a	Eliminación de vertimientos de descargas directas al río urbano No operación de alivios en tiempo seco Vertimientos de canales con calidad de agua actual Saneamiento en las Quebradas
2b	Eliminación de vertimientos de descargas directas al río urbano No operación de alivios en tiempo seco Vertimientos de canales con calidad de agua lluvia Saneamiento en las Quebradas
3a	Eliminación de vertimientos de descargas directas al río urbano Operación de alivios en tiempo seco Vertimientos de canales con calidad de agua actual Saneamiento en las Quebradas
3b	Eliminación de vertimientos de descargas directas al río urbano Operación de alivios en tiempo seco Vertimientos de canales con calidad de agua lluvia Saneamiento en las Quebradas

Tabla 7.6. Resumen – Escenarios modelación

Escenario	Descargas Directas Agua Residual	Alivios en tiempo seco	Canales operando		Quebradas Saneadas
			Aguas Lluvias	Actual Aguas residuales	
Actual modelación	√	√		√	X
1a	√	X		√	√
1b	√	X	√		√
2a	X	X		√	√
2b	X	X	√		√
3a	X	√		√	√
3b	X	√	√		√

Para cada escenario y cada tramo de río se modelaron los siguientes parámetros: DBO_5, DQO, O.D., Nitrógeno total, Fósforo total y SST. Los resultados obtenidos de la modelación se muestran en el Anexo 7.1.

Con el fin de determinar el mejor escenario de saneamiento para 4 y 10 años se diseñó una matriz por cada tramo de río de la ciudad, comparándose por parámetro propuesto en la resolución de O.C., los valores máximos, mínimos y promedios obtenidos: de la modelación, datos de RCHB, los valores propuestos por este proyecto para 4 años y 10 años, y los establecidos en la resolución 1813 de 2006 [Anexo 7.1].

7.1. Escenarios escogidos - modelación

A partir de análisis y discusiones con la SDA se seleccionaron los resultados obtenidos de los siguientes escenarios para establecerse como objetivos de calidad para 4 y 10 años, para los tramos 1, 2, 3 y 4 del río Fucha, Salitre y Tunjuelo [Tabla 7.7].

Tabla 7.7. Escenarios escogidos - modelación

Escenarios escogidos OC		
Fucha		
Tramo	**4 años**	**10 años**
Tramo 1	1b	2b
Tramo 2	1b	2b
Tramo 3	3a	2b
Tramo 4	3a	2b
Salitre		
Tramo	**4 años**	**10 años**
Tramo 1	Propuesta inicial – 4 años [corregir DBO]	2b
Tramo 2	1a	2b
Tramo 3	1a [corregir DBO=150;OD=0,5; SST]	2b
Tramo 4	Igual a Tramo 3	Igual a Tramo 3
Tunjuelo		
Tramo	**4 años**	**10 años**
Tramo 1	2b	Propuesta inicial 10 años
Tramo 2	2b	Propuesta inicial 10 años
Tramo 3	1b	2b
Tramo 4	Propuesta inicial 4 años	70% disminución en carga

- Río Fucha

Actualmente en el Tramo 1 del Río Fucha, descarga un canal de aguas lluvias con conexiones erradas; si este canal es saneado, operando con aguas lluvias, la calidad del río mejora significativamente, acorde con resultados del modelo. Para 4 años se seleccionó el escenario 1b, operación de canales de aguas lluvias. Para 10 años, se escogió el escenario 2b, no operación de alivios en tiempo seco, saneamiento de canales y eliminación de descargas domésticas directas al río.

En el Tramo 2 se evidencia problemas de alivios [7] operando en tiempo seco y canales descargando aguas residuales al río Fucha [2]. Para este tramo se selecciona los mismos escenarios que el tramo 1. Para 4 años se debe sanear los canales, y en 10 años se debe sanear alivios y eliminar las descargas domésticas al río.

Para el Tramo 3 se identifican problemas de alivios operando en tiempo seco [7] y descargas del Canal Comuneros al río. Se seleccionó el escenario 3a, operación de alivios en tiempo seco y eliminación de las descargas domésticas al río, acorde con las metas de la SDA. Según los resultados obtenidos en la modelación, para este tramo no se espera una mejora en 4 años. En 10 años, en este tramo se debe sanear los alivios, se deben eliminar las descargas domésticas y debe operar los canales con agua lluvia.

Para el Tramo 4 se identifican problemas de descargas directas de las aguas residuales, operación de interceptores y estaciones de bombeo. Para 4 años se deben eliminar los vertimientos directos de aguas residuales domésticas a los ríos. En 10 años los canales deben operar con agua lluvia y los alivios deben operar solo en tiempo seco, acorde con el escenario seleccionado, 2b.

- Río Salitre

En el Tramo 1 de este río se identifica un canal de aguas lluvias con conexiones erradas, sin embargo la calidad de este tramo es muy buena; se determinó en 4 años dejar los mismos objetivos propuestos inicialmente en este proyecto, los cuales fueron obtenidos a partir de datos históricos de la RCHB. Para 10 años se seleccionó el escenario 2b, eliminación de descargas directas al río, no operación de alivios en tiempo seco y operación de canales con agua lluvia.

Para el Tramo 2 se identifican alivios funcionando en tiempo seco [4]. Para 4 años estos alivios deben estar saneados, acorde con el escenario escogido [1a]. Para 10 años se debe eliminar las descargas directas de aguas residuales a los cuerpos de agua, saneamiento de alivios y canales [2b].

Para el Tramo 3 se identifican problemas de alivios [6], canales de aguas lluvias transportando aguas residuales [2] y vertimientos directos de aguas residuales. En 4 años acorde con el escenario escogido [1a], se deben sanear los alivios y en 10 años se debe sanear canales y descargas directas a los ríos [2b].

En el Tramo 4 del río Salitre se identifican problemas de vertimientos directos de aguas residuales al río. Acorde con metas de la SDA este tramo debe tener como mínimo la misma calidad que el Tramo 3 establecidas en 4 y 10 años.

- Río Tunjuelo

Para el Tramo 1 de este río se identifica problemas de descargas directas de aguas residuales. Para 4 años se seleccionó el escenario 2b, lo cual establece eliminar las descargas directas de aguas residuales, sanear canales y alivios, y mejora en la calidad de quebradas. En 10 años este tramo debe tener la calidad del agua propuesta para objetivos de calidad para tramo 1 en 10 años [Tabla 7.3], establecida a partir de balance de masa de los objetivos de calidad establecidos por la CAR para 20 años.

En el Tramo 2 se identifican problemas de quebradas no saneadas y vertimientos directos de aguas residuales al río. Para 4 años se establece el escenario 2b, que contempla eliminar descargas de aguas residuales al río y mejoramiento de calidad de las quebradas. En 10 años se establece los objetivos de calidad para 10 años propuesto por este proyecto en este periodo para tramos 2,3 y 4 de los ríos.

Para el Tramo 3 del río Tunjuelo se identifican problemas de vertimientos directos al río y quebradas no saneadas. Para un periodo de 4 años se establece el escenario 1b, el cual contempla saneamiento de alivios y quebrada y operación de canales con aguas lluvias. En 10 años se determina que se deben eliminar los vertimientos directos de aguas residuales, saneamiento de canales y alivios.

Para el Tramo 4 se identifican problemas de vertimientos directos de aguas residuales a los ríos. Para este tramo se determinaron otros dos escenarios, eliminación del 20% de las cargas

y 70% de las cargas. Para 4 años se seleccionó la propuesta de este proyecto para este periodo en este tramo. Para 10 años se seleccionó el modelo que elimina el 70% de las cargas.

7.2. Resultados - objetivos de calidad

A continuación se presentan los valores propuestos como objetivos de calidad a 4 y 10 años para los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y Torca y su justificación. La propuesta está basada en los resultados de la modelación con los escenarios escogidos, sin embargo hay valores en los resultados de la modelación que están por encima de los registros históricos, debajo del límite de detección o de los valores establecidos por la OECD – Clase I [preservación de flora y fauna]. En estos casos se revisaron los registros históricos de la RCHB y la OECD y se escogió un valor como propuesta de objetivos de calidad.

El objetivo de calidad de pH se mantiene igual para todos los ríos, con un rango de 6 a 9 unidades para 4 años y de 6.5 a 8.5 para 10 años.

Debido a que en el modelo QUAL2K no se incluyen todos los parámetros que se van a regular, los objetivos de calidad para aceites y grasas [A y G] y tensoactivos [SAAM] a 4 años fueron establecidos a partir de los registros históricos de la RCHB, y a 10 años a partir del balance de masa para cumplir con los objetivos de calidad del Río Bogotá establecidos en el Acuerdo 043 de 2006.

Para el caso de los coliformes fecales, en la mayoría de los tramos de los ríos, los registros históricos de la RCHB son superiores a 1×10^6 NMP/100ml. Es interés de la SDA que con las obras que se realizarán en un futuro se disminuya la concentración de coliformes en los ríos, por esta razón el peor caso de coliformes fecales debe ser 1×10^6 NMP/100ml como objetivo de calidad a 4 años y disminuir en una unidad logarítmica en 10 años.

- Río Fucha

En las siguientes tablas se presentan los valores propuestos como objetivos de calidad a 4 y 10 años del Río Fucha. En la Tabla7.8 se presenta la propuesta para Tramo 1. Los resultados de la modelación son muy bajos para DBO y N_{total}, por lo tanto se escogió lo establecido por la

OECD manteniendo una gradualidad. En el caso del OD los valores históricos de la RCHB de los últimos meses presentan una mejor calidad, por esta razón se escogió el promedio de los valores de los últimos registro realizados en enero, febrero y marzo de 2007.

Tabla 7.8. Propuesta Tramo 1 – Río Fucha

Fucha Tramo 1. Entrada Perímetro Urbano- Carrera 7 (K+19,59 - K+15,15)					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	7	Promedio valores RCHB	8	Acorde con lo establecido a 4 años
DBO_5	mg/l	5	OECD - Clase II y valores RCHB	5	Valor más estricto 4 años
DQO	mg/l	35	Modelo Escenario 1b	30	Modelo Escenario 2b
N_{total}	mg/l	3	Históricos RCHB (ningún dato supera el valor propuesto)	1.5	Modelo Escenario 2b
P_{total}	mg/l	0.1	Históricos RCHB (5% datos superan el valor propuesto)	0.1	OECD – Clase I y acorde con lo establecido a 4 años
SST	mg/l	10	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	10	Modelo Escenario 2b
A y G	mg/l	10	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1000	Históricos RCHB (5% datos superan el valor propuesto)	100	Meta SDA
pH	Unidades	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	0.5	Históricos RCHB (5% datos superan el valor propuesto)	0.5	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

En la Tabla 7.9 se muestran los objetivos de calidad para el Tramo 2 de Fucha. Se mantuvo una relación de 1:3 entre la DBO y la DQO. Para N_{total} y P_{total} se siguieron las recomendaciones de la OECD ya que el modelo presenta valores muy bajos. Al igual que en tramo anterior el valor para OD corresponde al valor promedio de los últimos registros de la RCHB en la Estación Carrera 7.

Tabla 7.9. Propuesta Tramo 2 – Río Fucha

Fucha Tramo 2. Carrera 7- Desembocadura Canal Comuneros (K +14,95 - K+7,57)					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	4	Promedio valores RCHB (enero- abril de 2007)	5	Gradualidad con valor a 4 años
DBO5	mg/l	50	Modelo Escenario 1b	40	Modelo Escenario 2b
DQO	mg/l	150	Relación DQO=3*DBO	90	Modelo Escenario 2b
N_{total}	mg/l	20	OECD - Clase IV	10	Propuesta inicial 10 años
P_{total}	mg/l	3	Históricos RCHB (40% datos superan el valor propuesto)	1	OECD - Clase IV
SST	mg/l	30	Modelo Escenario 1b	25	Modelo Escenario 2b
A y G	mg/l	25	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.0E+06	Meta SDA	1.0E+05	Meta SDA
pH	Unidades	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	3	Históricos RCHB (15% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

En la Tabla 7.10 se presenta la propuesta para Tramo 3 de Fucha. Para N_{total} a 10 años se escogió la propuesta inicial con el balance de masa y para P_{total} se siguieron las recomendaciones de la OECD.

Tabla 7.10. Propuesta Tramo 3 – Río Fucha

Fucha Tramo 3. Desembocadura Canal Comuneros - Av. Boyacá (K+7,40- K+4,90)					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	0.2	Meta SDA	0.5	Meta SDA
DBO_5	mg/l	250	Modelo Escenario 3a	60	Modelo Escenario 2b
DQO	mg/l	400	Modelo Escenario 3a	180	Relación DQO=3*DBO
N_{total}	mg/l	40	Modelo Escenario 3a	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa)
P_{total}	mg/l	8	Modelo Escenario 3a	1	OECD - Clase IV
SST	mg/l	150	Históricos RCHB (40% datos superan el valor propuesto)	30	Modelo Escenario 2b
A y G	mg/l	40	Históricos RCHB (25% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.0E+06	Meta SDA	1.0E+05	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	4	Históricos RCHB (20% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

En la Tabla 7.11 se muestran los objetivos de calidad para Tramo 4 de Fucha. Los valores de SST, N_{total} y P_{total} están acordes con los propuestos en el tramo 3.

Tabla 7.11. Propuesta Tramo 4 – Río Fucha

Fucha Tramo 4. Av. Boyacá - Desembocadura (K+ 4,77 - K+0,00)					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	0.2	Acorde Tramo 3	0.5	Acorde Tramo 3
DBO_5	mg/l	250	Modelo Escenario 3a	60	Modelo Escenario 2b
DQO	mg/l	400	Modelo Escenario 3a	180	Relación DQO=3*DBO
N_{total}	mg/l	40	Acorde Tramo 3	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa)
P_{total}	mg/l	8	Acorde Tramo 3	1	OECD - Clase IV
SST	mg/l	200	Históricos RCHB (40% datos superan el valor propuesto)	30	Acorde Tramo 3
A y G	mg/l	60	Históricos RCHB (38% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.0E+06	Meta SDA	1.0E+05	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	4	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

- Río Salitre

En la Tabla 7.12 se presente la propuesta, para Tramo 1, de los valores propuestos como objetivos de calidad 4 y 10 años del Río Salitre. Los valores de 4 años son acordes con históricos de la RCHB. En el caso de los SST los datos históricos son muy altos y los de OD son muy bajos, por lo tanto se propone un valor acorde con el promedio de los valores registrados en enero, febrero, marzo y abril de 2007 de la RCHB.

Tabla 7.12. Propuesta Tramo 1 – Río Salitre

Salitre Tramo 1. Entrada perímetro urbano - Arzobispo Carrera 7 (K 17+675 - K 16+623)					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	7	Promedio valores RCHB (enero, febrero, marzo y abril - 2007)	8	Gradualidad con valor establecido a 4 años
DBO_5	mg/l	5	Históricos RCHB (18% datos superan el valor propuesto)	5	Valor más estricto 4 años
DQO	mg/l	35	Históricos RCHB (18% datos superan el valor propuesto)	30	Propuesta inicial 10 años (Balance de masa ajustado)
N_{total}	mg/l	5	Históricos RCHB (15% datos superan el valor propuesto)	2	Modelo Escenario 2b
P_{total}	mg/l	1	Históricos RCHB (5% datos superan el valor propuesto)	0.2	Modelo Escenario 2b
SST	mg/l	10	Promedio valores RCHB (enero, febrero, marzo y abril - 2007)	10	Acorde con lo establecido a 4 años
A y G	mg/l	10	Históricos RCHB (8% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (Balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.0E+05	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	1.0E+04	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	1	Históricos RCHB (5% datos superan el valor propuesto)	0.5	Propuesta inicial 10 años (Balance de masa ajustado)

En la Tabla 7.13 se presentan los objetivos de calidad propuestos para el Tramo 2 de Salitre. En el caso de la materia orgánica se mantiene una relación de 1:2.5 [para 4 años] y de 1:3 [para 10 años] entre la DBO y la DQO. Para N_{total} se siguen las recomendaciones de la OECD, ya que los resultados de la modelación son muy bajos. Los valores históricos de la RCHB para P_{total} están por debajo de los resultados del modelo, por esta razón se escogió un valor intermedio entre estos dos. Al igual que en el tramo anterior el valor de los SST es coherente con el de la DBO. El resultado del modelo para OD dan muy alto en comparación con lo datos históricos, por esta razón se escogió un valor acorde con el promedio de los últimos meses registrados de la RCHB (enero a marzo de 2007).

Tabla 7.13. Propuesta Tramo 2 – Río Salitre

Salitre Tramo 2. Carrera 7 - Carrera 30 (K 16+623 - K13+905)					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	2	Promedio valores RCHB (enero, febrero, marzo y abril - 2007)	5	Gradualidad con valor establecido a 4 años
DBO_5	mg/l	80	Modelo Escenario 1a	60	Modelo Escenario 2b
DQO	mg/l	200	Relación DQO=2,5*DBO	90	Relación DQO=3*DBO
N_{total}	mg/l	20	OECD - Clase IV	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa)
P_{total}	mg/l	6	Modelo Escenario 1a	1	OECD - Clase IV
SST	mg/l	80	Coherencia con valores de tramo 1 y 3	30	Coherencia con valor de DBO
A y G	mg/l	20	Históricos RCHB (30% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (Balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.0E+06	Meta SDA	1.0E+05	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	3	Históricos RCHB (35% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (Balance de masa ajustado)

En la Tabla 7.14 se encuentra la propuesta para el Tramo 3 de Salitre. Los resultados de la modelación para N_{total} y P_{total} son muy bajos por lo tanto se tomaron valores de la RCHB para 4 años y recomendaciones de la OECD para 10 años. Los objetivos de calidad para el Tramo 4 son los mismos propuestos para Tramo 3.

Tabla 7.14. Propuesta Tramo 3 – Río Salitre

Salitre Tramo 3. Carrera 30 - Avenida 68 (K 13+905 - K 8+378)					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	0.5	Modelación Escenario 1a	2	Modelación Escenario 2b
DBO5	mg/l	150	Modelación Escenario 1a (ajustado)	100	Modelación Escenario 2b
DQO	mg/l	350	Relación DQO=2.5*DBO (ajustado)	250	Relación DQO=2.5*DBO
Ntotal	mg/l	40	Históricos RCHB (40% datos superan el valor propuesto)	20	OECD - Clase IV
Ptotal	mg/l	6	Históricos RCHB (65% datos superan el valor propuesto)	1	OECD - Clase IV
SST	mg/l	150	Coherencia con valor de DBO	60	Propuesta inicial 10 años (Balance de masa ajustado)
G&A	mg/l	30	Históricos RCHB (25% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.0E+06	Meta SDA	1.0E+05	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	3	Históricos RCHB (25% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (Balance de masa ajustado)

- Río Tunjuelo

A continuación se presentan las tablas con los valores propuestos como objetivos de calidad a 4 y 10 años del Río Tunjuelo. En la Tabla 7.15 se presenta la propuesta para Tramo 1. Para la DBO los resultados de la modelación están por encima de los registros históricos por esto se escogió un valor con el cual cumplen todos los datos de la RCHB. Con el fin de mantener una relación entre la DBO y la DQO se escogió un valor para la DQO acorde con los valores de la RCHB. En el caso de N_{total} y P_{total} los resultados de la modelación son muy bajos por lo tanto se siguieron las recomendaciones de la OECD manteniendo una gradualidad. En el caso del OD los valores registrados en la RCHB en los meses de enero, febrero y marzo, presentan una buena calidad por esta razón el valor propuesto es acorde con el promedio de estos registros.

Tabla7.15. Propuesta Tramo 1 – Río Tunjuelo

Tunjuelo - Tramo 1 Entrada perímetro urbano- Desembocadura Q. Yomasa					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	7	Promedio valores RCHB (enero, febrero, marzo - 2007)	8	Gradualidad con el valor establecido a 4 años
DBO_5	mg/l	5	Históricos RCHB (ningún dato supera el valor propuesto)	5	Valor más estricto 4 años
DQO	mg/l	35	Históricos RCHB (15% datos superan el valor propuesto)	30	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
N_{total}	mg/l	3	Históricos RCHB (ningún dato supera el valor propuesto)	1.5	OECD - Clase I y Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
P_{total}	mg/l	0.1	OECD - Clase II	0.1	OECD - Clase I
SST	mg/l	10	Históricos RCHB (ningún dato supera el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años
A y G	mg/l	20	Históricos RCHB (15% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.E+03	Históricos RCHB (5% datos superan el valor propuesto)	1.E+02	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	0.5	Históricos RCHB (5% datos superan el valor propuesto)	0.5	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

En la Tabla 7.16 se encuentran los objetivos de calidad para el Tramo 2 del río Tunjuelo. En el caso de la materia orgánica se mantuvo una relación de 1:2 entre la DBO y DQO para valores altos de DBO y 1:3 para valores bajos de DBO. Los resultados de la modelación de oxígeno disuelto son muy elevados y muy bajos para DBO y SST, en estos casos se escogió el histórico de la RCHB o el promedio de los valores registrados de enero a abril de 2007 de la RCHB.

Tabla 7.16. Propuesta Tramo 2 – Río Tunjuelo

Tunjuelo - Tramo 2 Desembocadura Q. Yomasa - A. Boyacá					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	2	Promedio valores RCHB (enero – abril de 2007)	5	Meta SDA
DBO_5	mg/l	100	Históricos RCHB (23% datos superan el valor propuesto)	50	Gradualidad 4 y 10 años
DQO	mg/l	200	Relación DQO=2*DBO	100	Relación DQO=2*DBO
N_{total}	mg/l	20	OECD - Clase IV	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa)
P_{total}	mg/l	3	Modelo Escenario 2b	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
SST	mg/l	120	Históricos RCHB (40% datos superan el valor propuesto, excluyendo Doña Juana)	30	Modelación Escenario 2b
A y G	mg/l	20	Históricos RCHB (15% datos superan el valor propuesto, excluyendo Doña Juana)	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.00E+06	Meta SDA	1.00E+05	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	3	Históricos RCHB (7% datos superan el valor propuesto, excluyendo Doña Juana)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

En la Tabla 7.17 se observa la propuesta para Tramo 3 del río Tunjuelo. Varios de los valores propuestos son acordes con los de Tramo 2.

Tabla 7.17. Propuesta Tramo 3 – Río Tunjuelo

Tunjuelo - Tramo 3 Av. Boyacá - Autop. Sur					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	1	Modelo Escenario 1b ajustado	2	Modelo Escenario 2b ajustado
DBO_5	mg/l	100	Acorde Tramo 2	50	Acorde Tramo 2
DQO	mg/l	200	Acorde Tramo 2	100	Acorde Tramo 2
N_{total}	mg/l	20	OECD - Clase IV	10	Modelo Escenario 2b ajustado
P_{total}	mg/l	5	Históricos RCHB (30% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
SST	mg/l	150	Históricos RCHB (40% datos superan el valor propuesto, excluyendo Doña Juana)	30	Modelo Escenario 2b
A y G	mg/l	20	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.00E+06	Meta SDA	1.00E+05	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	3	Históricos RCHB (15% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

En la Tabla 7.18 se presentan los objetivos de calidad para el Tramo 4 de Tunjuelo. Los valores propuestos a 4 años están basados el históricos de la RCHB, mientras que para 10 años están basados en la propuesta inicial teniendo en cuenta el balance de masa.

Tabla 7.18. Propuesta Tramo 4 – Río Tunjuelo

Tunjuelo - Tramo 4. Autop. Sur - Desembocadura					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	0.5	Meta SDA	1	Acorde Tramo 3
DBO_5	mg/l	250	Históricos RCHB (30% datos superan el valor propuesto)	100	Modelo Escenario 70% de la carga eliminada
DQO	mg/l	500	Relación DQO=2*DBO	200	Relación DQO=2*DBO
N_{total}	mg/l	50	Históricos RCHB (50% datos superan el valor propuesto)	20	OECD – Clase IV
P_{total}	mg/l	8	Históricos RCHB (43% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
SST	mg/l	300	Históricos RCHB (40% datos superan el valor propuesto)	60	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
A y G	mg/l	50	Históricos RCHB (35% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.0E+06	Meta SDA	1.00E+05	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	3	Históricos RCHB (23% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

- Río Torca

A continuación se presentan las tablas con los valores propuestos como objetivos de calidad para 4 y 10 años del Río Torca. El modelo QUAL2K no está implementado para este canal por lo tanto los objetivos de calidad están basados en datos históricos de la RCHB y de la propuesta inicial a 10 años con el balance de masa para cumplir con el Acuerdo 043 de 2006. En el Tramo 2 [ver Tabla 7.20], los objetivos propuestos para OD, DBO, DQO y N_{total} son similares a los establecidos en el río Salitre en el Tramo 4.

Tabla 7.19. Propuesta Tramo 1 – Canal Torca

Río Torca Tramo 1. Entrada Jurisdicción DAMA - Makro					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	3	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	5	Propuesta inicial - 10 años
DBO_5	mg/l	15	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	5	Valor más estricto a 4 años
DQO	mg/l	50	Históricos RCHB (15% datos superan el valor propuesto)	30	Propuesta inicial - 10 años (balance de masa ajustado)
N_{total}	mg/l	5	Históricos RCHB (35% datos superan el valor propuesto)	2	Propuesta inicial 10 años (balance de masa)
P_{total}	mg/l	1	Históricos RCHB (20% datos superan el valor propuesto)	0.2	OECD - Clase II
SST	mg/l	20	Históricos RCHB (25% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial - 10 años (balance de masa ajustado)
A y G	mg/l	20	Históricos RCHB (20% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial - 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.0E+05	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	1.0E+04	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	1	Históricos RCHB (20% datos superan el valor propuesto)	0.5	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

Tabla 7.20. Propuesta Tramo 2 – Canal Torca

Río Torca Tramo 2. Makro -Salida Jurisdicción DAMA					
Parámetro	**Unidades**	**Propuesta y Justificación - 4 años**		**Propuesta y Justificación - 10 años**	
OD	mg/l	0.5	Históricos RCHB (70% datos superan el valor propuesto)	2	Acorde Salitre Tramo 4
DBO_5	mg/l	150	Históricos RCHB (13% datos superan el valor propuesto)	100	Acorde Salitre Tramo 4
DQO	mg/l	300	Relación DQO=2*DBO	250	Acorde Salitre Tramo 4
N_{total}	mg/l	40	Históricos RCHB (10% datos superan el valor propuesto)	20	Acorde Salitre Tramo 4
P_{total}	mg/l	6	Históricos RCHB (13% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
SST	mg/l	150	Históricos RCHB (15% datos superan el valor propuesto)	60	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
A y G	mg/l	30	Históricos RCHB (13% datos superan el valor propuesto)	10	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1.0E+06	Meta SDA	1.0E+05	Meta SDA
pH	Unidad	6 - 9		6.5 - 8.5	
SAAM	mg/l	4	Históricos RCHB (5% datos superan el valor propuesto)	1	Propuesta inicial 10 años (balance de masa ajustado)

En las Tablas 7.21 y 7.22 se encuentra el resumen de los objetivos de calidad propuestos para 4 y 10 años.

Tabla 7.21. Objetivos de Calidad – 4 años

Objetivos de Calidad - 4 años															
Parámetro	Unidades	Tramos - Canal Torca		Tramos - Río Salitre				Tramos - Río Fucha				Tramos - Río Tunjuelo			
		1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
OD	mg/l	3	0.5	7	2	0.5	0.5	7	4	0.2	0.2	7	2	1	0.5
DBO_5	mg/l	15	150	5	80	150	150	5	50	250	250	5	100	100	250
DQO	mg/l	50	300	35	200	350	350	35	150	400	400	35	200	200	500
N_{total}	mg/l	5	40	5	20	40	40	3	20	40	40	3	20	20	50
P_{total}	mg/l	1	6	1	6	6	6	0.1	3	8	8	0.2	3	5	8
SST	mg/l	20	150	10	80	150	150	10	30	150	200	10	120	150	300
A y G	mg/l	20	30	10	20	30	30	10	25	40	60	20	20	20	50
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1E+05	1E+06	1E+05	1E+06	1E+06	1E+06	1E+03	1E+06	1E+06	1E+06	1E+03	1E+06	1E+06	1E+06
pH	Unidad	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
SAAM	mg/l	1	4	1	3	3	3	0.5	3	4	4	0.5	3	3	3

Tabla 7.22. Objetivos de Calidad – 10 años

Objetivos de Calidad - 10 años															
Parámetro	Unidades	Tramos - Canal Torca		Tramos - Río Salitre				Tramos - Río Fucha				Tramos - Río Tunjuelo			
		1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
OD	mg/l	5	2	8	5	2	2	8	5	0.5	0.5	8	5	2	1
DBO_5	mg/l	5	100	5	60	100	100	5	40	60	60	5	50	50	100
DQO	mg/l	30	250	30	90	250	250	30	90	180	180	30	100	100	200
N_{total}	mg/l	2	20	2	10	20	20	1.5	10	10	10	1.5	10	10	20
P_{total}	mg/l	0.2	1	0.2	1	1	1	0.1	1	1	1	0.1	1	1	1
SST	mg/l	10	60	10	30	60	60	10	25	30	30	10	30	30	60
A y G	mg/l	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Coliformes fecales	NMP/1000ml	1E+04	1E+05	1E+04	1E+05	1E+05	1E+05	1E+02	1E+05	1E+05	1E+05	1E+02	1E+05	1E+05	1E+05
pH	Unidad	6.5 - 8.5		6.5 - 8.5				6.5 - 8.5				6.5 - 8.5			
SAAM	mg/l	0.5	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1

Los monitoreos deben hacerse como mínimo dos [2] veces al año en tiempo seco [3 días precedente de no lluvia], sin embargo se recomienda que los monitoreos se realicen cuatro [4] veces al año. Las muestras deben ser compuestas de seis [6] horas con composición espacial. Los resultados de los monitoreos deberán reportarse como un único valor cuando solo hay una estación por tramo y como el promedio cuando hay más de una. En el Capítulo 8 se hace una descripción más detallada del programa de monitoreo.

Para evaluar el cumplimiento de los objetivos de calidad, se debe calcular el índice de calidad del agua WQI [Water Quality Index], por campaña de monitoreo en cada tramo de cada uno de los ríos regulados Si el WQI se encuentra en el rango de:

95 ≤WQI<100: se ha cumplido satisfactoriamente los objetivos de calidad establecidos para este tramo del río en la campaña monitoreada **(Excelente)**

80≤ WQI≤94 l: en la mayoría de veces se cumplió deseablemente los objetivos de calidad establecidos para este tramo del río en la campaña monitoreada **(Buena)**

65≤WQI≤79: frecuentemente se cumplieron los objetivos de calidad establecidos para este tramo del río en la campaña monitoreada **(Aceptable)**

45 ≤WQI ≤64: ocasionalmente se cumplieron los objetivos de calidad establecidos para este tramo del río en la campaña monitoreada **(Marginal)**

[0<WQI <44]: no se cumplieron los objetivos de calidad calidad establecidos para este tramo del río en la campaña monitoreada **(Pobre)**

A continuación se presentan las tablas con el estado actual de los ríos en Bogotá, a partir de los valores históricos promedio mensual de la RCHB entre enero y abril de 2007. Adicionalmente se muestra el WQI estimado a partir de estos valores y los objetivos de calidad a 4 años.

Tabla 7.23. Estado actual y WQI – Río Salitre

Estado actual - Río Salitre												
Parámetro	**Tramo 1**			**Tramo 2**			**Tramo 3**			**Tramo 4**		
	Min	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**
pH	6.7	7.7	7.1	7.1	8.5	7.9	7.6	8.5	8.1	7.3	7.9	7.5
DBO (mg/L)	1.0	12.0	4.9	61	173	127	102	249	186	46	120	97
DQO (mg/L)	14.0	34.0	24.6	141	399	270	247	518	401	113	300	234
OD (mg/L)	5.3	8.3	6.9	0.1	1.9	1.2	0.1	1.6	0.4	0.1	0.6	0.3
SST (mg/L)	1.5	422	113	89	152	116	133	428	221	54	194	139
N_{total} (mg/L)	1.0	7.7	3.8	19.5	37.5	28.8	22.5	75.1	48.1	17.9	37.5	29.8
P_{total} (mg/L)	0.1	1.9	0.7	3.6	9.5	5.6	5.4	9.0	7.9	4.4	6.7	5.6
SAAM (mg/L)	0.4	0.6	0.5	2.3	3.4	2.8	1.8	3.4	2.7	1.3	2.8	2.4
C. fecales (NMP/100mL)	2E+02	1E+06	3E+05	5E+06	8E+06	6E+06	2E+06	1E+07	9E+06	4E+06	1E+07	8E+06
A y G (mg/L)	5.0	7.6	5.7	5.0	49.0	33.0	5.0	50.5	21.0	8.3	31.0	19.4
WQI	**50**			**31**			**31**			**59**		

Tabla 7.24. Estado actual y WQI – Río Fucha

Estado actual - Río Fucha												
Parámetro	**Tramo 1**			**Tramo 2**			**Tramo 3**			**Tramo 4**		
	Min	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**
pH	7.0	7.6	7.3	7.2	8.2	7.8	7.5	8.2	8.0	7.6	8.6	8.0
DBO (mg/L)	1.0	3.3	2.1	78	118	93	117	227	185	252	366	307
DQO (mg/L)	12	21	18	169	298	229	237	489	392	467	711	603
OD (mg/L)	7.2	8.7	8.1	1.5	4.8	3.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
SST (mg/L)	2.0	4.8	2.9	58	721	235	110	259	179	193	238	209
N_{total} (mg/L)	0.9	1.3	1.1	17.6	23.0	20.9	24.8	61.4	40.1	43.8	57.1	50.1
P_{total} (mg/L)	0.1	0.1	0.1	3.0	7.7	4.3	3.0	9.0	6.2	7.3	9.9	8.9
SAAM (mg/L)	0.1	0.4	0.2	1.6	2.5	2.2	3.1	7.8	4.6	2.6	3.3	3.0
C. fecales (NMP/100mL)	1.E+01	3.E+01	2.E+01	2.E+05	5.E+06	3.E+06	4.E+06	2.E+07	1.E+07	2.E+07	4.E+07	3.E+07
A y G (mg/L)	5.0	6.0	5.3	5.0	37.3	21.9	5.0	39.5	24.6	10.0	480.1	146.5
WQI	**100**			**34**			**45**			**27**		

Tabla 7.25. Estado actual y WQI – Río Tunjuelo

Estado actual - Río Tunjuelo												
Parámetro	**Tramo 1**			**Tramo 2**			**Tramo 3**			**Tramo 4**		
	Min	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**
pH	6.6	7.7	7.1	8.0	8.9	8.6	7.6	9.2	8.5	8.1	8.9	8.5
DBO (mg/L)	1.3	1.5	1.4	64	112	87	78	155	105	238	347	273
DQO (mg/L)	17.5	23.0	20.9	210	312	259	241	258	251	524	829	660
OD (mg/L)	4.9	8.2	6.7	1.1	1.8	1.4	0.1	0.7	0.3	0.1	0.1	0.1
SST (mg/L)	4.5	6.0	5.3	940	4070	1885	150	186	164	218	467	354
N_{total} (mg/L)	1.3	2.2	1.7	29.7	47.3	38.9	29.9	38.4	35.1	55.9	73.2	64.3
P_{total} (mg/L)	0.1	0.3	0.2	12.8	66.4	30.3	4.2	5.5	4.9	7.0	12.4	9.3
SAAM (mg/L)	0.1	0.3	0.2	1.2	2.1	1.7	2.5	2.9	2.6	2.7	3.3	3.1
C. fecales (NMP/100mL)	1.E+01	7.E+02	3.E+02	1.E+06	2.E+06	2.E+06	2.E+06	1.E+07	6.E+06	1.E+07	2.E+07	1.E+07
A y G (mg/L)	6.7	24.0	17.2	7.0	35.1	16.8	13.7	24.5	19.5	27.0	179.9	105.2
WQI	**80**			**27**			**31**			**23**		

Tabla 7.26. Estado actual y WQI – Canal Torca

Estado actual - Canal Torca						
Parámetro	**Tramo 1**			**Tramo 2**		
	Min	**Max**	**Prom**	**Min**	**Max**	**Prom**
pH	6.4	7.8	7.1	6.6	8.1	7.6
DBO (mg/L)	2.0	20.5	7.1	33	109	78
DQO (mg/L)	11.0	58.5	29.1	90	262	196
OD (mg/L)	3.7	5.8	4.6	0.1	0.4	0.2
SST (mg/L)	6.5	33.8	14.3	31	126	85
N_{total} (mg/L)	2.6	5.0	4.3	16.4	27.8	24.2
P_{total} (mg/L)	0.4	1.0	0.6	2.2	4.3	3.7
SAAM (mg/L)	0.2	1.0	0.6	1.2	3.7	2.4
C. fecales (NMP/100mL)	3E+01	2E+05	4E+04	8E+05	1E+07	5E+06
A y G (mg/L)	5.00	27.25	12.50	5.00	75.25	31.73
WQI	**64**			**71**		

7.3. Zonas de mezcla

Acorde al artículo 10 del Decreto 1594 de 1984, se define zona de mezcla como *el área técnicamente determinada a partir del sitio de vertimiento, indispensable para que se produzca mezcla homogénea de este con el cuerpo receptor; en la zona de mezcla se permite sobrepasar los criterios de calidad de agua para el uso asignado, siempre y cuando se cumplan las normas de vertimiento.*

Las zonas de mezclan deben ser calculadas por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Las zonas de mezcla aplican a vertimientos de contaminantes degradables, no se permiten sustancias bioacumulables, tóxicas o persistentes.
- Los sedimentos de la zona de mezcla no deben acumular contaminantes a niveles tóxicos.
- Las zonas de mezclan se limitarán por una longitud calculada específicamente para cada vertimiento en cada río en los diferentes periodos hidrológicos.

Adicionalmente, La Secretaría Distrital de Ambiente podrá considerar otros criterios diferentes a los ya mencionados.

7.4. Sustancias prioritarias

Los cuerpos de agua superficial en Bogotá deben estar libres de las siguientes sustancias que representan un riesgo tanto para la salud humana como para los ecosistemas acuáticos y terrestres. Por lo tanto, se debe reducir, suprimir, interrumpir progresivamente sus usos, sus vertidos, emisiones y pérdidas de dichas sustancias

Tabla 7.23. Lista de sustancias prioritarias

Sustancias prioritarias				
1,2 - Dicloropropano	Alcanos, C10-13, cloro	Cloruro de metileno	Hexaclorobutadieno	Pesticidas organoclorados [1]
1,3 - Dicloropropeno	Asbesto	Cloruro de vinilo	Hexaclorociclohexanos (HCH) [1]	Tolueno
1,2 - Difenilhidracina	Benceno	Dicloroetilenos [1]	Hexaclorociclopentadieno	Tetracloroetileno
2 - Cloronaftaleno	Bencidina	Dinitrotolueno [1]	Hidrocarburos aromátcos policíclicos (HAP) [1]	Tetracloruro de carbono
2,3,7,8-Tetraclorodibenzo-p-dioxin	Bifenil policlorados [1]	Etanos Clorados [1]	Isoforona	Tributil estaño
2,4 - Dimetilfenol	Carbamatos	Etilbenceno	Naftaleno	Tricloroetileno
3,3' - Diclorobencidina	$Cianuro_{Total}$	Formaldehído	Nitrobenceno	
4,6 - Dinitro-o-cresol	Cloroalkil éteres [1]	Ftalato esteres [1]	Nitrofenoles [1]	
Acrilonitrilo	Clorobencenos [1]	Haloéteres [1]	Nitrosaminas [1]	
Acroleína	Clorofenoles [1]	Halometanos [1]	Nonilfenol	
[1]Grupo de sustancias, ver Anexo 6.4				

8. MONITOREO

Para controlar los objetivos de calidad propuestos, se debe establecer un programa de monitoreo. Este programa debe contemplar la gradualidad con la que se establecieron los objetivos de calidad, es decir los valores son más estrictos en función del tiempo, por lo tanto el monitoreo debe ser más riguroso. Las campañas de monitoreos deben hacerse en periodos seco, donde se hayan registrado como mínimo 3 días de no lluvia.

Tabla 8.1 Frecuencia de monitoreo – objetivos de calidad

Gradualidad	Estaciones Fijas		Monitoreos	Campañas por año	Sedimentos
4 Años	36	t_{real1}:pH, T, Cond, OD y Turbidez	2/tramo	2	
10 Años	5/río	t_{real1} + t_{real2}:4 iones	12/río	4	2/año
20 Años	10/río	t_{real1} + t_{real2} + t_{real3}: 3 parámetros más	15/río	8	6/año
40 Años	15/río	t_{real} todo los parámetros			10/año

El programa de monitoreo propuesto en este proyecto establece mediciones de algunos parámetros en las estaciones fijas de la RCHB; para esto se propone contar con más estaciones fijas en los ríos en función de la gradualidad con el fin de tomar medidas de prevención que eviten alteraciones en la calidad del agua. Igualmente el programa contempla campañas de monitoreo y su frecuencia, tanto para calidad del agua como en sedimentos [ver Tabla 8.1].

9. ÍNDICES DE CALIDAD

A partir de los criterios de calidad en los cuerpos de agua en Bogotá, se debe establecer un índice de calidad que resuma estos criterios en términos simples [bueno, regular o malo] con el fin de ser reportado a la comunidad de una manera sencilla y sirva como base para las autoridades ambientales en la creación de políticas para la gestión del recurso hídrico.

Para la selección de los índices de calidad del agua en Bogotá se realizo una revisión de los índices **Oregon Water Quality Index [OWQI]** y **Water Quality Index de Canadá**.

9.1. Oregon Water Quality Index [OWQI]

Establecidos por el Departamento de Calidad Ambiental del Estado de Oregon en Estados Unidos. Este índice expresa un número de calidad del agua. EL OWQI integra 8 variables de calidad: Temperatura [T], oxígeno disuelto [O.D.], demanda bioquímica de oxígeno [DBO], pH, amonio y nitratos [N], fósforo total [P], sólidos totales [ST] y coliformes fecales [C.F]. A partir de las mediciones realizadas en los cuerpos de agua de estos parámetros se calcula un subíndice [SI] que permite estimar el OWQI, usando la siguiente ecuación:

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{SI_i^2}}}$$

[Ec. 1b]

Donde,

N: número de subíndices

SI_I: subíndice i

Si el OWQI es menor a 59 la calidad del agua es muy pobre, si esta ente 60 y 70 la calidad es pobre, entre 80 y 84 es regular, entre 85 a 89 es buena y entre 90 y 100 la calidad del agua es excelente.

Cada subíndice es determinado a partir del valor del parámetro y utilizando las siguientes ecuaciones:

Subíndice de Temperatura [SI_T]

Si T ≤11°C, entonces $SI_T = 10$

Si 11°C< T≤29°C, entonces $SI_T = 76.54 + 4.172 * t - 0.1623 * T^2 - 2.0557e^{-3} * T^3$ [Ec. 2]

Si 29°>T, entonces $SI_T = 10$

Subíndice de Oxígeno Disuelto [$SI_{O.D}$]

Si O.D saturación [$O.D_s$]≤ 100% y O.D concentración [O.Dc] ≤ 3.3 mg/l, entonces $SI_{O.D} = 10$

Si 3.3 mg/l< O.Dc<10.5 mg/l, entonces $SI_{OD} = -80.29 + 31.88 * O.D_C - 1.401 * ODc^2$ [Ec. 3]

Si 10.5 mg/l ≤ $O.D_C$, entonces $SI_{OD} = 100$

Si 100% < OD_S ≤ 275%, entonces $[SI]_{\downarrow}(O.D) = 100 * e^{\uparrow}([([O.D]_{\downarrow}S - 100) * 1.19E^{\uparrow}(-2)])$ [Ec. 4]

Si 275% < ODs, entonces $SI_{O.D} = 10$

Subíndice de Demanda Bioquímica de Oxígeno, [SI_{DBO5}]

Si DBO≤ 8mg/l, entonces $SI_{DBO} = 100 * DBO^{-0.1998}$ [Ec. 5]

Si 8 mg/l <DBO, entonces $SI_{DBO} = 10$

Subíndice de pH [SI_{Ph}]

Si pH<4, entonces $SI_{pH} = 10$

Si 4≤pH<7, entonces $SI_{PH} - 2.628 * e^{[pH*0.5200]}$ [Ec. 6]

Si 7≤pH≤8, entonces $SI_{PH} = 100$

Si 8< pH≤11, entonces $SI_{PH} = 100 * e^{[pH\ 8*0.5188]}$ [Ec. 7]

Si 11<pH, entonces $SI_{FH} - 100$

Subíndice de Amonio y Nitratos [SI_N]

Si N≤3 mg/L, entonces $SI_N = 100 * e^{N*-0.4605}$ [Ec. 8]

Si 3 mg/l < N, entonces $SI_N = 100$

Subíndice de Fósforo total [SI_P]

Si P≤0.25 mg/l, entonces $SI_P = 100 - 299.6 * P - 0.1384 * P^2$ [Ec. 9]

Si 0.25 mg/l< P, entonces $SI_P = 100$

Subíndice de Coliformes fecales [$SI_{C.F}$]

Si C.F≤50/100 Ml, entonces $SI_{C.F} = 98$

Si 50/100ml<C.F<1600/100ml, entonces $SI_{C.F} = 98 * e^{((C.F-50)*-9.9178E-4)}$ [Ec. 10]

Si 1600/100 ml<C.F, entonces $SI_{CF} = 100$

Subíndice de Sólidos totales [SI_{TS}]

Si ST≤40 mg/l, entonces $SI_{ST} - 100$

Si 40 mg/l< ST≤220 mg/l, entonces $SI_{TS} = 142.6 * e^{st*-8.862E-3}$ [Ec. 11]

Si 220mg/l>ST, entonces $SI_{ST} = 100$

9.2. Water Quality Index de Canadá

Es establecido por el Concejo del Ministerio del Medio Ambiente, **Canadian Council of Ministers of The Environment [CCME]**. Este índice incorpora 3 elementos:

- Alcance [F1]: representa el porcentaje de variables que no cumplen los objetivos al menos una vez durante el periodo de tiempo, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$F_1 = \left(\frac{Numero\ de\ variables\ que\ no\ cumplen}{Numero\ total\ de\ variables}\right) * 100$$ [Ec. 12]

- Frecuencia [F2]: representan en forma porcentual número de ensayos que no cumplieron los objetivos de calidad, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$F_2 = \left(\frac{Número\ de\ tests\ que\ no\ cumplen\ los\ objetivos}{Número\ total\ de\ tests}\right) * 100 \quad \text{[Ec. 13]}$$

- Amplitud [F3]: representa la cantidad por la cual los valores de los test no cumplieron los objetivos, este se calcula a partir de la excursión y la suma normalizada de las excursiones [NSE].

Cuando los valores no deben exceder el objetivo de calidad se calcula la excursión como:

$$excursion_i = \left(\frac{Valor\ de\ test\ que\ no\ cumplen\ el\ objetivo\ j}{Valor\ del\ objetivo_j}\right) - 1 \quad \text{[Ec. 14]}$$

Cuando los valores deben estar por encima del objetivo de calidad se calcula la excursión como:

$$excursion_i = \left(\frac{Objetivo_j}{Valores\ de\ test\ que\ no\ cumplen}\right) - 1 \quad \text{[Ec. 15]}$$

NSE se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^{n} excursion_i}{\#\ total\ de\ tests} \quad \text{[Ec. 16]}$$

Y la amplitud se estima utilizando la siguiente ecuación:

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01 * nse + 0.01}\right) \quad \text{[Ec. 17]}$$

Finalmente, el WQI se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732}\right) \quad \text{[Ec. 18]}$$

A partir de los puntos obtenidos de la Ecuación 18 se puede clasificar la calidad del agua es clasificada en:

Excelente [95 <WQI<100]: la calidad del agua está cerca a niveles naturales perfectos
Buena [80 <WQI< 94]: la calidad del agua, en algunas ocasiones presenta problemas de amenaza apartándose de las condiciones deseables
Aceptable [65<WQI<79]: la calidad del agua ocasionalmente presenta problemas, algunas veces se apartan de las condiciones físicas o los niveles naturales deseables
Marginal [45 <WQI <64]: la calidad del agua frecuentemente causa problemas y se apartan de los niveles naturales deseables
Pobre [0<WQI <44]: la calidad del agua es casi siempre amenazada o afectada; por lo general se apartan de las condiciones o los niveles físicos deseables

Los beneficios de utilizar este índice de calidad es que permite comparar objetivos de calidad en diferentes tramos de ríos sin importar que los parámetros monitoreados sean diferentes. Adicionalmente se puede usar para determinar calidad de sedimentos. Por lo tanto en este proyecto se propone utilizar este índice como medida del cumplimiento de los objetivos de calidad en los cuerpos de agua de la ciudad.

En la Tabla 9.1, se presenta un ejercicio realizado con el fin de determinar la calidad actual de los ríos en la ciudad de Bogotá, con datos de la RCHB de Enero a Abril de 2007 y comparados con los objetivos de calidad a 4 años [Tabla 9.1]:

Tabla 9.1. Cálculo del WQI para RCHB

Tramo	Rio			
	Salitre	Fucha	Tunjuelo	Torca
1	50	100	80	64
2	31	34	27	71
3	31	45	31	
4	59	27	23	

En esta tabla se puede ver que la mayoría de los tramos tiene una calidad pobre respecto a los objetivos de calidad a 4 años propuestos para la Resolución. Solamente el tramo alto de Fucha cuenta con una calidad buena.

10. ZONAS DE MEZCLA O DILUCIÓN

En un cuerpo de agua pueden existir zonas donde los criterios de calidad sobrepasen los criterios establecidos para el uso asignado al cuerpo. Estas son áreas de mezcla o dilución donde se pueden realizar vertimientos siempre y cuando no representen un riesgo para el ecosistema acuático y no sobrepasen las normas de vertimientos.

En el Decreto 1594 de 1984, articulo 10, se define zona de mezcla como: "el área técnicamente determinada a partir del sitio de vertimiento, indispensable para que se produzca mezcla homogénea de este con el cuerpo receptor que permitan no cumplir los objetivos de calidad establecidos para el recurso hídrico, debido a vertimientos de fuentes difusas o fijas".

La zona de mezcla se limita en longitud y al de esta zona se debe cumplir los criterios de calidad establecidos para el cuerpo de agua. En la siguiente figura se representa una zona de mezcla típica.

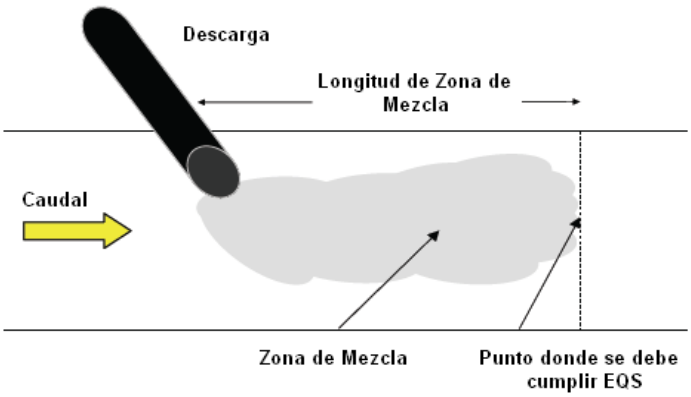


Figura 10.1. Diagrama de Zona de Mezcla [Fuente: Canada-wide Strategy for the Management of Municipal Wastewater Effluent]

Según la CCME, las zonas de mezcla deben tener los siguientes criterios con el fin de no causar efectos negativos al ecosistema acuático, ni afectar los usos establecidos en el cuerpo de agua receptor:

- Zonas de mezcla varían de un cuerpo de agua a otro, debido a la rapidez de mezcla.
- Zonas de mezcla son establecidas solo para contaminantes degradables, no se permiten sustancias bioacumulables, tóxicas o persistentes.
- Los sedimentos de la zona de mezcla no deben acumular contaminantes a niveles tóxicos.
- Limitada por una longitud de 100 a 300 metros. Cuando la mezcla de descarga es rápida, la mezcla completa ocurrirá en periodos cortos.
- Considerar la dilución debido a que la concentración de muchas sustancias vertidas al final de tubo no es la concentración que se presenta en el cuerpo de agua, ni a la que está expuesta la vida acuática y humana. La dilución no se considera como un tratamiento para las aguas residuales.

Los límites de la zona mezcla son definidos de acuerdo a las características físicas del medio acuático: quebradas y ríos, lagos y reservorios y estuarios.

Quebradas y ríos: presentan condiciones críticas de mezcla en periodos de sequía. Para ríos y quebradas se recomienda un factor máximo de dilución de 1:100.

Lagos, reservorios y zonas costeras: Estos cuerpos de agua son especialmente sensibles a la adición de sustancias. Su hidrodinámica generalmente favorece bajas velocidades de mezcla y tiempos largos de retención, lo cual puede prolongar la presencia de sustancias en todo el medio acuático. La longitud de zona de mezcla recomendada es de 100 m. Se puede establecer un factor de dilución máximo de 1:10 y un factor mínimo de 1:20, con el fin de prevenir condiciones de toxicidad que afecten la vida acuática.

Para establecer objetivos de calidad en los cuerpos de agua en Bogotá se deben tener en cuenta que las zonas de mezclas son áreas permitidas para no cumplir los objetivos de calidad

establecidos, sin embargo estas zonas no deben representar una amenaza para los ecosistemas acuáticos.

Bibliografía

Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, [Chapters 1, 3, 4 and 5], 2000.

BKH Consulting Engineers (2000). Establishment of a priority list of substances for further evaluation of their role in endocrine disruption

Canada Council of Ministers of the Environment. Canada Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life Index, version 1. 2001

Congreso de Colombia, Ley 164 de 1994

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, Acuerdo 043 Número de 2006

Decreto 1594 de 1984, Usos del agua y residuos líquidos [1984]

Departamento técnico administrativo del medio ambiente – DAMA. Resolución 1813 de 2006.

Department of Environment Quality. Oregon Water Quality Index, s.f. Consultado en http://www.deq.state.or.us/wq/standards/standards.htm

Department of Health, Title 21 of the District of Columbia Municipal Regulations, Chapter 11, Water Quality Standards, 2005.

Department of Water Affairs and Forestry South African Water Quality Guidelines, Volume 3: Industrial Water Use Second Edition, 1996

Environmental Protection Agency. Reference Documents from the 1980s, U.S Environmental Protection Agency, Water Quality Standards for Wetlands, National Guidance,199http://www.epa.gov/waterscience/criteria/library/ambientwqc/

Food and Agriculture Organization. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47, Ed. M.B. Pescod, consultado en:http://www.fao.org/docrep/T0551E/t0551e03.htm#TopOfPage

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 157 de 2004

Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables et Agences de l'eau, Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau des Cours d'Eau – Grilles d'Evaluation SEQ-Eau, Version 2, 2003.

Nebraska Department of Environment Quality, Nebraska Administrative Code. chapter 7, Tittle 117, Julio 31 de 2006.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, Decisión Nº 2455/2001/CE por la que se aprueba la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE, 20 de noviembre de 2001.

United Nations Educational and Cultural Organization-UNESCO. World Water Development Report, Part V: Pilot Case Studies: A Focus on Real-World Examples, 2003

World Health Organization. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring, 2nd Ed, 1996.