

**HUMEDALES CONSTRUIDOS: UNA ALTERNATIVA
PARA RECUPERAR FUNCIONES ECOLÓGICAS DE
LOS HUMEDALES NATURALES DE BOGOTÁ D.C.**

MARIO ALEJANDRO TORRES HARKER

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y
AMBIENTALES U.D.C.A.
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
BOGOTÁ D.C.
2016**

**HUMEDALES CONSTRUIDOS: UNA ALTERNATIVA
PARA RECUPERAR FUNCIONES ECOLÓGICAS DE LOS
HUMEDALES NATURALES DE BOGOTÁ D.C.**

MARIO ALEJANDRO TORRES HARKER

**Monografía para optar por el título de Profesional en
Ciencias Ambientales**

DIRECTOR: LUIS HERNANDO ESTUPIÑAN

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y
AMBIENTALES U.D.C.A.
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
BOGOTÁ D.C.**

2016

Tabla de contenido

Introducción	12
1. Historia de los Humedales de Bogotá y su Sabana	14
1.1. Aspectos biofísicos	14
1.2. El Plioceno.....	14
1.3. El Pleistoceno.....	15
1.4. El Holoceno	18
2. Sociedades prehispánicas en los Humedales de Bogotá y su Sabana	21
2.1. Periodo Lítico	21
2.2. Periodo Herrera	22
2.3. Periodo Muisca.....	24
2.4. Cosmovisión Muisca.....	24
2.5. Sistema Político de los Muiscas	25
2.6. El Triángulo de la Fertilidad	26
2.7. El manejo de los Muiscas Sobre su territorio	26
3. Los Humedales de Bogotá en la Colonia.....	29
3.1. Historia.....	29
3.2. La Colonización Española de Bogotá y su Sabana	29
3.3. Transformación de Bogotá y su Sabana	30
3.4. Visión de los Humedales en la Colonia	32
3.5. El inicio de la República de Colombia	33
4. Los Humedales de Bogotá en el Siglo XIX	35
4.1. Historia.....	35
4.2. Aspectos biofísicos	38
4.3. Sociedad y Humedales	39

5. Los Humedales de Bogotá en el Siglo XX	41
5.1. Historia.....	41
5.2. Aspectos biofísicos	43
5.3. Sociedad y Humedales	45
6. Protección de los Humedales en el Siglo XX	48
6.1. Gestión Ambiental en el Mundo	48
6.2. Gestión Ambiental de Colombia	49
6.3. Gestión Ambiental en el Distrito Capital	50
7. Los Humedales Construidos (WC).....	53
7.1. Historia de los WC	53
7.2. Ventajas Ambientales y Económicas de los WC	54
7.3. Los Procesos de Depuración en los WC	55
7.4. Clasificación de los WC.....	57
7.5. Calidad del Caudal	58
7.5.1. Origen del Caudal	58
7.5.2. Cantidad del Caudal.....	59
7.5.3. Regulación Jurídica del Caudal	59
7.6. Tratamientos Previos.....	60
8. Construcción de Humedales	62
8.1. Limpieza, excavación y nivelación de tierras.....	62
8.2. Movimiento de tierras	63
8.3. Nivelación y compactación de las celdas	64
8.4. Sistema de distribución y recogida	64
8.5. Impermeabilización	65
8.6. Material granular	66
8.7. Vegetación.....	67
9. Humedal de Flujo Libre Superficial (FWS).....	70
9.1. Generalidades	70
9.2. Diseño	72
9.3. Dimensión biológica	72

9.4. Dimensión hidráulica	73
9.4.1. Velocidad de flujo	74
9.4.2. Factor de resistencia	74
9.4.3. Longitud del humedal	75
9.4.4. Tiempo hidráulico de retención	75
9.4.5. Carga hidráulica	76
9.5. Caudal del sistema	76
9.6. Mecanismos de eliminación	77
9.6.1. Materia en suspensión.....	78
9.6.2. Materia orgánica.....	78
9.6.3. Nitrógeno	79
9.6.4. Fosforo.....	79
9.6.5. Metales pesados	80
9.6.6. Bacterias y patógenos	80
9.7. Operación y mantenimiento	81
9.8. Costos	82
9.9. Impacto Ambiental	83
10. Humedales de Flujo Subsuperficial (HSF / VSF)	86
10.1. Generalidades	86
10.2. Diseño de un HSF	86
10.3. Dimensión biológica	87
10.3.1. Balance de masa	88
10.4. Dimensión hidráulica.....	89
10.4.1. Ancho del sistema.....	90
10.4.2. Longitud del sistema	91
10.5. Caudal del sistema.....	92
10.6. Mecanismos de eliminación	93
10.6.1. Materia en suspensión.....	93
10.6.2. Materia orgánica.....	93
10.6.3. Nitrógeno	94
10.6.4. Fosforo.....	94
10.6.5. Materiales pesados	95
10.6.6. Bacterias y patógenos	95
10.7. Operación y mantenimiento	95

10.8. Costos.....	96
10.9. Impacto Ambiental de los Humedales Subsuperficiales	98
11. Humedales Construidos de Flujo Vertical Subsuperficial (VSF).....	99
11.1. Generalidades	99
11.2. Diseño	100
11.3. Caudal del sistema.....	101
11.4. Mecanismos de eliminación	102
11.4.1. Materia en suspensión.....	102
11.4.2. Materia orgánica.....	103
11.4.3. Nitrógeno	103
11.4.4. Fosforo.....	103
11.4.5. Metales pesados	104
11.4.6. Bacterias y patógenos	104
11.5. Operación y mantenimiento	105
11.6. Costos.....	105
11.7. Humedales híbridos	106
12. Estado de los humedales de Bogotá D.C. y Proyección de los WC	108
.....	108
12.1. Introducción	108
12.2. Metodología de la propuesta.....	108
12.3. Estado general de los Humedales	109
12.3.1. Humedal La Vaca	110
12.3.2. Humedal El Burro	111
12.3.3. Humedal de Techo	112
12.3.4. Humedal de Tibanica	113
12.3.5. Humedal La Isla.....	115
12.3.6. Humedal Capellanía	115
12.3.7. Humedal Meandro del Say	116
12.3.8. Humedal de Jaboque	118
12.3.9. Humedal Santa María del Lago.....	119
12.3.10. Humedal Juan Amarillo	120
12.3.11. Humedal de Córdoba	122
12.3.12. Humedal La Conejera.....	123

12.3.13. Humedal Torca y Guaymaral	125
12.3.14. Humedal El Salitre.....	126
12.3.15. Humedal El Tunjo	127
12.4. Matriz de conflictos ambientales y propuesta de WC	128
12.5. Alternativa de WC en los Humedales de Bogotá D.C.	137
12.5.1. Humedal La Vaca	139
12.5.2. Humedal El Burro	140
12.5.3. Humedal de Techo	141
12.5.4. Humedal de Tibanica	141
12.5.5. Humedal La Isla.....	142
12.5.6. Humedal Capellanía	142
12.5.7. Humedal Meandro del Say.....	143
12.5.8. Humedal de Jaboque	144
12.5.9. Humedal Santa María del Lago.....	145
12.5.10. Humedal Juan Amarillo	145
12.5.11. Humedal de Córdoba	147
12.5.12. Humedal La Conejera.....	148
12.5.13. Humedal Torca y Guaymaral	149
12.5.14. Humedal El Salitre.....	151
12.5.15. Humedal El Tunjo	151
Conclusiones	153
Recomendaciones	154
Bibliografía.....	155

Índice de Tablas

Tabla 1. Los 15 Humedales de Bogotá D.C.	47
Tabla 2. Procesos fisicoquímicos en un WC	56
Tabla 3. Límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos de un vertimiento	60
Tabla 4. Macrófitas más usadas en los WC	69
Tabla 5. Experiencias internacionales con un FWS	71
Tabla 6. Desempeño de 27 FWS en USA	81
Tabla 7. Presupuesto económico para construir un FWS	83
Tabla 8. Valores de conductividad del material granular	90
Tabla 9. Presupuesto económico para construir un Humedal de Flujo Subsuperficial	97
Tabla 10. Desempeño de los Humedales Subsuperficiales	104
Tabla 11. Diferencias entre los tipos de WC	107
Tabla 12. Entorno de los Humedales de Bogotá	108
Tabla 13. Actos jurídicos de los PMA de los Humedales de Bogotá ..	109
Tabla 14. Matriz de conflicto ambientales y propuesta de WC	129
Tabla 15. Acciones para mejorar la capacidad hídrica de los humedales urbanos	138
Tabla 16. Visión integral de la propuesta	139

Índice de Tablas

Figura 1. Tipos de vegetación en el Peniglacial y Holoceno	17
Figura 2. Fauna de los humedales en el Holoceno	22
Figura 3. Campos de cultivo Muisca	27
Figura 4. Línea original de sucesión vegetal en la Sabana de Bogotá .	31
Figura 5. Calle típica de Bogotá en la Colonia.....	36
Figura 6. Ubicación de Chapinero en 1880	37
Figura 7. Plaza Mayor de Bogotá en los años 20.....	44
Figura 8. Estructura Ecológica principal de Bogotá D.C.	51
Figura 9. Componentes básicos de los WC.....	55
Figura 10. Clasificación de los WC.....	58
Figura 11. Fases de un pretratamiento.....	61
Figura 12. Plataforma de trabajo en la construcción de un WC	62
Figura 13. Celdas de un humedal construido	63
Figura 14. Arqueta sifonica	65
Figura 15. Instalación de la geomembrana en un WC.....	65
Figura 16. Relleno de un WC con material granular	66
Figura 17. Aireación de los rizomas de las macrófitas	67
Figura 18. Siembra de la vegetación en un WC	68
Figura 19. Esquema general de un FWS	71
Figura 20. Corte esquemático de un WC.....	73
Figura 21. Modelo de aplicación ideal de un FWS.....	77
Figura 22. Remoción de nitrógeno	79
Figura 23. Esquema general de un Humedal de Flujo Subsuperficial ..	87
Figura 24. Modelo de aplicación ideal de un Humedal de Flujo Subsuperficial.....	92
Figura 25. Área de entrada de un humedal subsuperficial	92
Figura 26. Fase de bombeo en un VSF	100
Figura 27. Humedal de Flujo Vertical Subsuperficial (VSF).....	101
Figura 28. Humedal La Vaca	110
Figura 29. Humedal El Burro.....	111
Figura 30. Humedal de Techo	112
Figura 31. Humedal de Tibanica	114

Figura 32. Humedal de Capellanía	116
Figura 33. Humedal Meandro del Say.....	117
Figura 34. Humedal de Jaboque	118
Figura 35. Humedal Santa María del Lago	119
Figura 36. Humedal Juan Amarillo	121
Figura 37. Humedal de Córdoba	122
Figura 38. Humedal La Conejera	124
Figura 39. Humedal Torca y Guaymaral	125
Figura 40. Humedal El Salitre.....	127

Agradecimientos

A todos los elementos Celestiales y Terrenales que día a día permiten que la vida en el mundo continúe.

A mis padres, hermanas y hermano por todo su amor y apoyo incondicional, para ustedes un reconocimiento especial.

A la Red Capital de Bibliotecas Públicas de Bogotá, en especial a la Biblioteca Pública Julio Mario Santo Domingo, el espacio y el material bibliográfico que me brindaron fueron vitales para el desarrollo de este documento.

A mi Director, Luis Hernando Estupiñan, sus críticas y compromiso fueron esenciales para consolidar este proyecto.

Introducción

Los Humedales son ecosistemas muy importantes para los ciclos de regulación hídrica, debido a que tienen la capacidad de retener grandes volúmenes de agua y nutrientes en temporadas de lluvia y posteriormente liberarlos a lo largo de la temporada de sequía, equilibrando los procesos biológicos de los ecosistemas adyacentes como ríos, quebradas, bosques, entre otros (Barrera *et al.*, 2009; Davidson *et al.*, 2012). Así mismo son depósitos de nutrientes, bacterias y microorganismos vitales para el desarrollo de organismos de niveles tróficos más altos (Carvalho *et al.*, 2013). Por otra parte, son muy importantes para el establecimiento de las especies vegetales, pero también son sitios de reposo y reproducción para las aves migratorias y algunos animales nativos en peligro de extinción que aun habitan en estos ecosistemas (ABO, 2000).

Una de las características más grandes de estos ecosistemas es la depuración de aguas residuales, debido a la presencia de varias especies vegetales, las cuales, en sus raíces, tallos y hojas, poseen bacterias y estructuras que actúan como filtradores (Pérez & Rojo, 2000). Estos a su vez disminuyen la carga contaminante del agua que va a estar disponible para la fauna y flora del lugar y la que se va a liberar a los demás ecosistemas (Davidson *et al.*, 2012).

Desafortunadamente la mayoría de área de humedales naturales, han sido rellenados, fragmentados, contaminados o han desaparecido debido a los procesos productivos, la expansión urbana de la ciudad y la falta de conocimiento y administración de estos ecosistemas (Roldán & Ramírez, 2008); en consecuencia, se ha producido una dramática caída en las poblaciones de flora y fauna características de estos espacios y la alteración de los ciclos hidrológicos en las zonas donde se encuentran, lo que a su vez, ha generado un aumento en las conexiones erradas de drenajes, inundaciones, vectores de enfermedades y la cultura de observar estos ecosistemas como botaderos de basura, sin darles ninguna importancia ecológica (Herrera *et al.*, 2008).

A raíz de esta problemática, se han diseñado algunas estrategias para recuperar la cobertura y funcionalidad de estos ecosistemas, tales como la delimitación de los remanentes, reforestación, mantenimiento y adecuación de conexiones erradas de drenaje, entre otros (JBB, 2013). Pero la más importante y, en las que este documento se va a centrar, es en la creación de humedales artificiales, los cuales son construidos a partir de plantas y cuerpos de agua con las características de un humedal y a su vez cumplen funciones de estos ecosistemas (Vymazal, 2011).

La importancia de incorporar estos espacios artificiales en zonas de humedales que históricamente han sido degradadas por los procesos anteriormente mencionados, radica en rehabilitar la calidad del agua a través de especies vegetales que depuran alta cargas de contaminantes, con el fin de recuperar parte de las dinámicas ecológicas para la microfauna (Originni & Isiorho, 2014).

Estas dinámicas producen alimento, refugio y zonas de reproducción para la avifauna y animales en general que coexisten en estos ecosistemas (Si *et al.*, 2014).

Este documento, que se desarrolla por capítulos, tiene énfasis en los humedales que se encuentran en la ciudad de Bogotá y, tiene como objetivo principal, aportar información desde una visión interdisciplinaria que, a su vez, se constituya en una fuente de referencia para programas de recuperación, rehabilitación o restauración de ecosistemas naturales.

CAPITULO 1: Historia de los Humedales de Bogotá y su Sabana

1.1. Aspectos Biofísicos

El origen de la Sabana de Bogotá, en los cuales se asentaron y evolucionaron los ecosistemas de humedales, fue producto de terremotos, generación de corrientes de lodo y demás procesos geológicos que empezaron a ocurrir con el levantamiento de la Cordillera Oriental hace aproximadamente seis millones de años, este periodo geológico se denomina el Plioceno, en el cual, los grandes movimientos tectónicos y otros fenómenos naturales, empezaron a moldear y dar origen a los primeros pantanos en este territorio (Van der Hammen, 2003).

Van der Hammen (1995), establece que hace aproximadamente tres millones de años, los movimientos telúricos a lo largo de las grandes fallas provocaron el hundimiento lento y constante del área de la Sabana, formando una cuenca con drenaje impedido, charcos y pantanos. Lo anterior dio como resultado la formación de un gran lago que cubría toda el área de Bogotá y parte de su Sabana (DAMA, 2000). En el Lago “Humboldt” como fue llamado por algunos investigadores, desembocaba el prístino Río Bogotá y sus abundantes afluentes que poseía a lo largo de su primitivo valle; el desagüe de este gran lago, se realizaba lentamente vía el Tequendama, cerca de la región que actualmente es conocida como el Salto del Tequendama (Van der Hammen, 2003).

Después de la mitad del siglo XX, Van der Hammen & González (1963), Van der Hammen *et al.* (1973), Cramer (1979), entre otros científicos, empiezan a publicar importantes avances científicos en sus investigaciones sobre los diferentes cambios geológicos de la Sabana de Bogotá a lo largo de las eras prehistóricas, dándole vía a los científicos Colombianos que apoyarían estos hallazgos científicos, con el fin de explicar y sustentar los procesos físicos y biológicos que ocurrieron en la Sabana de Bogotá.

De esta manera, Rangel (2003), sintetiza los diferentes cambios geológicos durante el Plioceno y Pleistoceno, así como los fuertes cambios climáticos durante la época de glaciaciones e interglaciares en el Holoceno.

1.2. El Plioceno: 5.3 millones de años – 2.6 millones de años A.P.

Este periodo fue marcado por un fuerte enfriamiento, aproximadamente 5 grados menos respecto a las condiciones actuales a la altitud media de la Sabana de Bogotá (Hooghiemstra, 1984). Estas condiciones dieron como resultado, que en los cerros cercanos al lago, la vegetación de paramo se distribuyera ampliamente con especies dominantes de *Valeriana*, *Caryophyllaceae* y *Aragoa* (Rangel, 2003).

En los alrededores del lago, se formó un bosque andino, en el cual las especies dominantes eran *Podocarpus*, *Hedyosmum*, *Weinmannia tomentosa* (encenillo), pero también, empezaron a desarrollarse pequeños parches de bosques con especies de *Vallea stipularis* (raque), *Miconia* (tuna) e *Illex kunthiana* (palo blanco) y elementos arbustivos de *Hypericum* (chites) y *Symplocos* (Wijninga, 1996).

Por otra parte, esta época también se caracterizó por una baja precipitación, lo que se veía reflejado en un ambiente muy seco (Van der Hammen & Gonzáles, 1963). En la base del lago, se fueron acumulando grandes cantidades de sedimentos lacustres y de ríos (Andriessen *et al.*, 1993). Estos elementos naturales convergían en sus laderas y fueron apareciendo los primeros Humedales con especies dominantes de *Cyperaceae*, *Hydrocotyle*, *Sphagnum* y *Ludwigia*, todas estas plantas acuáticas, en cuya extensión, se desarrollaban prolíficamente aves, peces y mamíferos primitivos (Hooghiemstra & Ran, 1994).

1.3. El pleistoceno: Entre 2.6 millones – 10.000 años A.P.

En los inicios de esta época, el territorio siguió enfriándose y la ubicación de la fauna y flora no cambiaron mucho con respecto al Plioceno tardío; sin embargo, a lo largo de este periodo, ocurrieron cambios importantes en cuanto a las condiciones climáticas, las cuales incidieron en el establecimiento de las poblaciones vegetales y animales de la Sabana (Van der Hammen, 1995).

Entre 2.2 – 1.0 millones de años A.P.

A medida que la temperatura disminuía, los bosques de *Podocarpus* localizados en la parte media de los cerros, en su mayoría son sustituidos por *Juglans neotropica* (nogal) y *Stylocerax* (Cramer, 1979). Hace un 1 millón de años, gran parte de los Bosques de *Weinmannia tomentosa* fueron sustituidos por bosques de especies de *Hedyosmum*, *Myrsine* y *Eugenia*, especies arbustivas que aprovechaban las bajas temperaturas para reproducirse a lo largo de los bosques (Van der Hammen & González, 1963).

En las orillas del lago, se establecieron principalmente especies de *Cyperaceae*, *Polygonum* y *myriophyllum*, sin embargo, una serie de movimientos telúricos, ocasiono que el fondo del lago fuera más profundo, aproximadamente 300 m, lo cual dio origen a la expansión de la vegetación acuática, dominada por pequeñas islas compuestas principalmente por especies de *Botryococcus* y *Coelastrum* (Schmidt Mumm, 1988).

Entre 1 millón – 90.000 años A.P.

Van der Hammen *et al.* (1973) mencionan que durante el último millón de años, en la tierra se han presentado 10 ciclos glacial – interglacial con una duración de 100.000 años cada uno (Van der Hammen *et al.*, 1973). Cada uno de estos ciclos está marcado por las drásticas fluctuaciones de la temperatura, las cuales generan que la distribución de las especies vegetales variara constantemente al igual que los animales que dependían de estas (Hooghiemstra, 1995 & Van der Hammen, 1995).

Por lo tanto, en las épocas de máxima glaciación, las temperaturas descendían hasta unos 8 grados menos que hoy en día, de manera que el lago era rodeado por vegetación de paramo y algunos glaciares descendían hasta los 2800 metros de altitud (Cleef, 1981). En contraste con el ciclo interglacial, en el cual los cambios de precipitación modificaban los niveles del lago, formando una red de turberas y pantanos en las zonas planas cuando los niveles de precipitación eran bajos o la desaparición y reducción de estos espacios cuando las precipitaciones eran constantes (Van der Hammen, 1986)

Por otra parte, en este periodo ocurrieron dos migraciones vegetales importantes; que con el tiempo, fueron la base para formar los bosques alto Andinos y los bosques de ribera adyacentes a los Humedales, que hasta la invasión de los españoles, se sustentaba una rica y amplia diversidad de flora y Fauna prehistórica (Rangel, 2003; Calvachi, 2003).

Según Rangel (2003), la primera migración ocurrió hace unos 850.000 años, el *Alnus* (aliso), inmigra desde el hemisferio norte y junto con *Myrica* (laurel). Se establecen densos bosques alrededor del lago y en zonas planas de la Sabana. Los bosques de *Alnus* y especies arbustivas fueron y han sido piezas clave para la conexión e intercambio de componentes orgánicos entre los bosques de los cerros, los bosques de ribera y los pantanos o turberas primitivas (Van der Hammen 1986).

La segunda migración ocurrió hace unos 350.000 años y al igual que el *Alnus*, el *Quercus* (roble) inmigra desde el hemisferio norte e inicialmente se establece en los límites de los bosques de *Podocarpus*, pero con el tiempo, se convierte en la especie dominante de estos bosques y da origen a las primeras fases de los bosques Subandinos en este territorio (Rangel, 2003 & González & Forero, 2000).

Entre 90.000 – 10.000 años A.P.

Durante esta época, se da el último ciclo glacial, en el cual, Van Der Hammen y González (1963), lo dividen en 4 épocas, el Pleniglacial inferior, Peniglacial medio, Peniglacial superior y el Tardiglacial (figura 1), cada una de estas épocas, muestra la evolución que tuvo la vegetación del lago, la vegetación de los cerros

de y como se fueron extendiendo los Humedales a raíz de la desecación del gran lago.

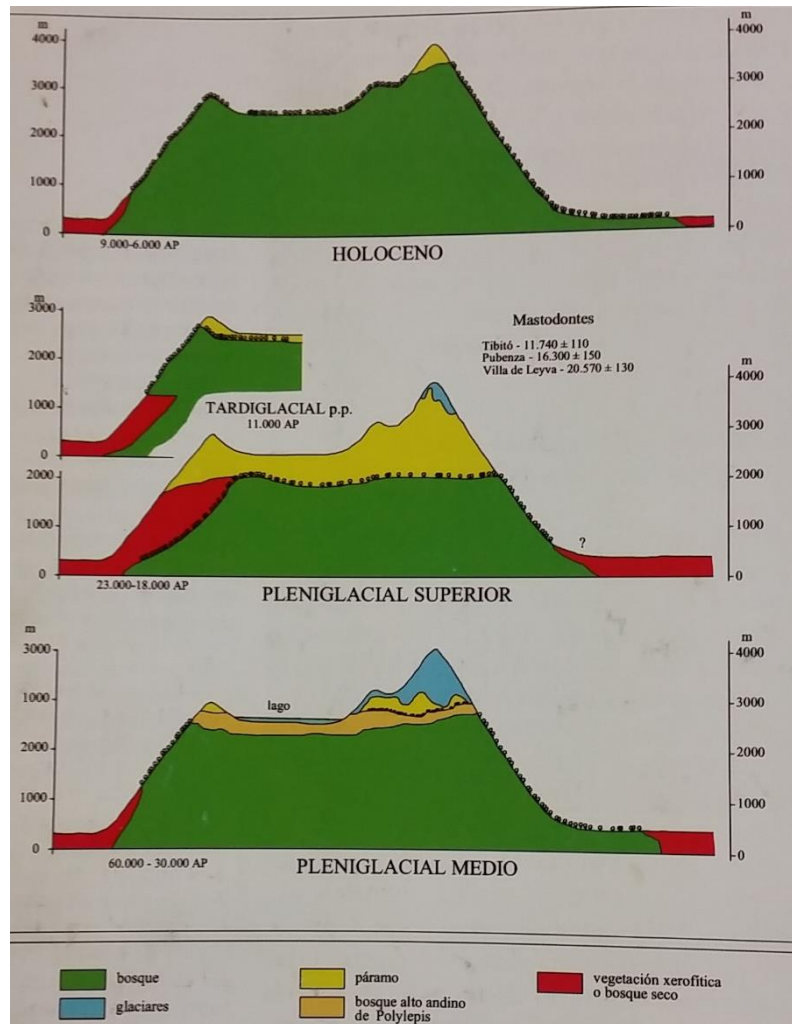


Figura 1: Secciones esquemáticas por la Cordillera Oriental y la Sabana de Bogotá, mostrando los diferentes tipos de vegetación durante el Pleniglacial e inicios del Holoceno. (Tomado textualmente de Van der Hammen 2003)¹.

En el Pleniglacial inferior, es decir, entre 90.000 y 60.000 años A.P. aproximadamente, las temperaturas eran muy bajas, las precipitaciones bajas y un ambiente muy seco, en esta condiciones los pajonales y matorrales de paramo se establecieron en las zonas altas de los cerros y un bosque de *Weinmannia tomentosa* se desarrolló exitosamente alrededor del lago (Van der Hammen, 2003).

Posteriormente, entre 60.000 y 30.000 años A.P. el clima se vuelve un poco menos frio, las precipitaciones aumentan y se crea un ambiente con una alta humedad, a esta época se le denomino Pleniglacial medio, en el cual, el nivel del

¹ Van der Hammen, T. 2003. *Los humedales de la Sabana: origen, evolución, degradación y restauración*. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Acueducto de Bogotá & Conservación Internacional. Vol. I. pt. 1. Bogotá.

lago subió considerablemente, descargando grandes volúmenes de agua sobre la región del Tequendama, de tal forma que estas inundaciones fueron erosionando y moldeando los valles de esta región y aún más su punto de salida (Van der Hammen, 1986).

En el Pleniglacial superior, entre 28.000 y 18.000 años A.P. aproximadamente, fue una época de temperatura muy baja, precipitación escasa y condiciones secas, lo que origino que las corrientes de agua que llegaban al lago disminuyeran y este empezara a desocuparse; estas nuevas condiciones provocaron la expansión de la vegetación de paramo por toda la Sabana pero también dio origen a humedales, la mayor parte de estos estacionales y se ubicaban en las partes mal drenadas o pantanosas de los remanentes del lago (Van der Hammen, 1986).

Hace aproximadamente 13.00 años, empieza el periodo que Van der Hammen (1986) denomino el Tardiglaciario que dura hasta 10.000 años A.P. durante esta época, el clima inicialmente tiene una mejora y es mucho más húmedo, estas condiciones generan la extensión de los humedales herbáceos, bosques de *Alnus*, *Myrica* y bosque andino de *Weinmannia* (Van der Hammen *et al.*, 1992).

Bajo estas condiciones, había una abundante fauna, en la que se destacaba los grandes mamíferos como los mastodontes y caballos americanos, pero también los animales de cacería como aves, venados y curíes, por lo cual, estos territorios brindaban un gran sustento de alimento para los grupos de Paleoindios que habitaron estos lugares (Calvachi, 2003).

Es importante recalcar que a finales de esta época, el gran lago que cubría a Bogotá y parte de la Sabana, se había secado, dejando expuestos todos los sedimentos lacustres y de ríos que había acumulado a lo largo de millones de años (Wijninga *et al.*, 1989). Adicionalmente, durante esta época las constantes erupciones volcánicas en la cordillera central, arrojaban grandes cantidades de ceniza al suelo del lago, las cuales se mezclaron con los sedimentos y materia orgánica producida por la vegetación (Andriessen *et al.*, 1993).

Esta mezcla de componentes orgánicos e inorgánicos, dio como resultado un suelo con una alta fertilidad, el cual es denominado ándico o Andisol (Pérez, 2000). Posteriormente, la temperatura y precipitación son escasas y lleva nuevamente al establecimiento de un Subpáramo y paramo en gran parte de la sabana de Bogotá, dando inicio al periodo geológico conocido como el Holoceno, el cual comprende los últimos 10.000 años de historia geológica (Cleef, 1981).

1.4. El Holoceno: 10.000 años hasta el presente

En términos generales, este periodo es muy variable, pero sus cambios climáticos son menos drásticos que los de los periodos anteriores. Inicialmente, el clima tiene una mejora importante, principalmente con el aumento de la

temperatura y las precipitaciones (DAMA, 2000). De esta manera se establecen condiciones climáticas similares a las actuales, las cuales, presentan temporadas más húmedas o más secas, permaneciendo la temperatura media anual con pocas variaciones, entre 1 o 2 grados aproximadamente (Van der Hammen & González, 1963).

También es importante recalcar que todas las dinámicas geológicas y climáticas descritas sobre los periodos anteriores, dieron como resultado una amplia oferta hídrica en este territorio; dicha oferta se vio reflejada con el aumento del nivel freático, el cual en muchas zonas se hallaba por encima de la superficie y ayudo a la formación de una gran cantidad de acuíferos a lo largo de la sabana (Van der Hammen, 2003).

Estas características hídricas que presentaba este territorio, permitieron que los humedales se extendieran rápidamente por los valles de los ríos y sus afluentes, los valles erosivos de la planicie, el piedemonte y las partes mal drenadas de las zonas planas de la Sabana (DAMA, 2000).

En cuanto a la vegetación de esta época, inicialmente en la Sabana predominaba un bosque de *Weinmannia* y Melastomataceae (Castaño, 2003). Hace unos 5.000 años, hubo un ligero aumento en la temperatura, dando como resultado que elementos del bosque Subandino como *Acalypha*, *Alchornea* y *Quercus*, se establecieran a lo largo de la sabana y en zonas bajas, medias y altas de montaña (Chaparro, 2003).

Posteriormente, el clima tiende a estar más frío y seco, en el cual se presentan temporadas con mayor o menor precipitación, provocando la mayor o menor extensión de los humedales (Van der Hammen & González, 1963). Estas dinámicas climáticas permitieron conocer la diferencia, en cuanto a la vegetación de los humedales, dependiendo de la topografía sobre la cual se desarrollaba y son descritas por Van der Hammen (2003).

Así pues, los humedales que se ubicaron en zonas con mayor drenaje, se establecieron principalmente bosques de *Myrtus communis* (arrayan), *Vallea stipularis* (raque) e *Ilex kunthiana* (palo blanco), en los humedales que temporalmente estaban inundados, tenían como especie dominante al aliso, acompañado de *Smallanthus pyramidalis* (arboloco), *Vallea stipularis* y Laurel (Rangel, 2003).

En los Humedales que permanecían inundados, tales como meandros o lagos cortados, la vegetación que proliferaba era herbácea, en la cual las especies dominantes eran *Scirpus californicus* (junco), *Typha angustifolia* (enea), *polygonum punctatum* (chusque), *Rumex obtusifolius* (lengua de vaca), *Hydrocotyle ranunculoides* (buchón) y comunidades flotantes de *Azolla* (helecho acuatico) y *Lemma* (lenteja de agua) (Van der Hammen, 2003).

Ahora bien, teniendo en cuenta todos los factores biofísicos anteriormente descritos, se puede observar la complejidad en los procesos geológicos y climáticos que han dado origen a los Humedales de la Sabana, lo cual es de vital importancia para comprender las dinámicas naturales de este territorio como un gran sistema.

De esta manera, es posible tener un conocimiento más amplio acerca del estado original de los Humedales, como fluye la energía a través de ellos y como intercambian originalmente los elementos orgánicos e inorgánicos de sus ecosistemas adyacentes, con el fin de realizar acciones de recuperación, rehabilitación y restauración, bajo conceptos científicos más coherentes para estos ecosistemas en la ciudad de Bogotá.

CAPITULO 2: Sociedades Prehispánicas en los Humedales de Bogotá y su Sabana

Los cambios climáticos y geológicos menos drásticos que ocurrieron en el Holoceno, permitieron el desarrollo y adaptación de los grupos humanos que migraron a la Sabana de Bogotá, desde la parte final del Tardiglacial, hace unos 13.000 años A.P. hasta la llegada y posterior invasión por parte de los españoles (Van der Hammen & Correal, 1978). Así mismo, la dinámica de como el hombre americano pobló estos territorios, ha sido muy variable, por lo cual, los académicos en sus investigaciones lo dividieron en tres periodos, basándose en la forma como el ser humano se relacionaban con su entorno y la manera como usaba los elementos que este le ofrecía (DAMA, 2000).

2.1. Periodo Lítico

La presencia de los primeros seres humanos en los territorios de la Sabana de Bogotá, muestra que la ruta de migración más probable que hizo el hombre americano hacia los territorios de la Sabana de Bogotá, fue a través del Valle del Magdalena, debido a que a lo largo de este prístino valle, se hallaron grandes cantidades de utensilios de origen lítico que utilizaron los primeros habitantes de la Sabana en sus actividades cotidianas (Botiva *et al.*, 1989 & Castaño, 2003).

Estos grupos de humanos estaban organizados en familias pequeñas, bandas u hordas, los cuales se caracterizaban por ser exclusivamente cazadores, recolectores y establecerse en refugios temporales en los abrigos rocosos de los cerros o en los campos abiertos sobre la sabana de Bogotá (Van der Hammen & Correal, 1978). Las herramientas cotidianas estaban hechas de artefactos de madera, piedra y huesos de animales (Correal, 1981). La dieta de estos primeros hombres, consistió fundamentalmente en los caballos macizos y robustos de (*Equus andinum* y *Equus curvidens*), complementada con mastodontes suramericanos y unas pocas plantas herbáceas (Van der Hammen, 1992).

Por otra parte, estos grupos fueron testigos de las extinciones y modificaciones del territorio, producto de los fuertes cambios climáticos y geológicos entre el pleistoceno y el Holoceno (Castaño, 2003). Durante estos procesos, el humano prehistórico contribuyó en gran parte a la desaparición de la mega fauna, la cual era su principal fuente de alimento; sin embargo, las nuevas condiciones ecosistémicas trajeron una gran oferta biológica tanto en fauna y flora, estimulada principalmente por los ambientes lacustres y los humedales (figura 2) (Peña & Pinto, 1996).

De tal manera, que a lo largo de este periodo, la temperatura y el clima en general, se asemejan más a las actuales, dando como resultado que las adaptaciones y aprovechamiento de los ecosistemas lagunares, pantanos y

turberas, por parte de estos cazadores recolectores, fueran cada vez más exitosas para su supervivencia en la Sabana (Van der Hammen, 2003).

Los primeros humanos sobre este territorio fueron mejorando sus técnicas de cacería y pesca, ya que existe una gran cantidad de evidencia arqueológica, sobre el consumo de conejos silvestres, armadillos, borugos, zorros, runchos, comadreas y venados, adicionalmente esta dieta era complementada con numerosas aves y especies de moluscos, propiamente de los humedales (Botiva *et al.*, 1989; Van der Hammen & Correal, 1978; Castaño, 2003).



Figura 2: Fauna típica de los humedales de la Sabana de Bogotá desde el Holoceno. (Tomada de Calvachi 2003)².

2.2 Periodo Herrera

Inicialmente, existió una confusión con respecto a este periodo, aproximadamente entre los años 5.000 y 2.225 A.P. Dicha confusión se dio principalmente por dos factores: la ausencia de estudios arqueológicos en la primera mitad del siglo XX y la idea de relacionar a los habitantes de este periodo

² Calvachi, B. 2003. *La fauna en los Humedales de Bogotá y la Sabana*. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Acueducto de Bogotá & Conservación Internacional. Vol. I. pt. 1. Bogotá.

con los pocos estudios o información que se tenía de los Muisca (Gutiérrez & de García, 1982).

Es importante recalcar que las excavaciones más recientes sobre los territorios de la Sabana, muestran que son más las diferencias que las similitudes de los grupos humanos de este periodo y los Muisca, sociedad indígena que se consolidó a lo largo de la sabana y parte de las tierras bajas del Valle del Magdalena hasta su degradación provocada por la invasión de los españoles (Langebaek, 1986).

Posteriormente, en la segunda mitad del siglo XX, empiezan a publicarse varios trabajos arqueológicos de vital importancia para entender mejor este periodo, de esta manera, investigaciones como las de Silvia Broadbent (1965) y (1971), muestran la existencia de los primeros artefactos cerámicos creados por los humanos de este periodo y su diferencia con los artefactos en cerámica de los indígenas de periodos posteriores.

Así mismo, las investigaciones de Correal y Pinto (1983), muestran las particularidades de un periodo en transición, en el cual, se destacan dos aspectos: el primero es la transformación de una agricultura incipiente a una agricultura más tecnificada y con una mayor extensión sobre los fértiles suelos de la Sabana y el segundo, es el incremento progresivo de los sistemas jerárquicos complejos en los grupos humanos de este territorio.

Con base en lo anterior, hace unos 5.000 años, el hombre cazador recolector cambia sus dinámicas de supervivencia y empieza la etapa de sedentarización junto con la naciente horticultura de la Sabana (Van der Hammen, 2003).

En la primera parte de este periodo, empiezan aparecer los primeros rastros de las plantas cultivadas como la *Cucurbita pepo* (calabaza) y *Oxalis tuberosa* (ibia), también, son hallados restos de cangrejos y una gran cantidad de peces, en especial el pez capitán (*Eremophilus mutisii*), los cuales eran abundantes en la Sabana y constituían una parte esencial en la dieta de grupos Paleoindios, cuya adaptación y conocimiento de este territorio era cada vez mayor (Van der Hammen *et al.*, 1992).

Hacia la mitad de este periodo, aproximadamente hace 3500 años A.P, las dinámicas anteriormente enunciadas, se intensifican con la aparición del maíz (*Zea mays*) en la sabana y la utilización de tubérculos ricos en proteína (Van der Hammen, 2003). Así mismo, aparecen los primeros utensilios de cerámica en los cuales está plasmado parte de su cultura (Broadbent, 1971). No obstante, es poco lo que se conoce sobre su mundo espiritual, ya que no dejaron plasmado pictografías sobre su cosmovisión del territorio, tal y como hicieron los grupos humanos contemporáneos del Chiribiquete o las sociedades indígenas de los próximos periodos (Castaño, 2003).

2.3. Periodo Muisca

Teniendo en cuenta la transición de los amerindios en este territorio a lo largo del Holoceno, empieza un periodo conocido como el premuisca, en el cual según Langebaek (1987), los diferentes grupos indígenas sobre la Sabana, compartieron conocimientos alfareros, agrícolas y muchas veces mantuvieron relaciones de intercambio.

Así mismo, empiezan a sobresalir las ventajas que ofrecen los utensilios de cerámica para almacenar, cocinar y manipular los alimentos, dinámicas se ven reflejadas en el incremento de los procesos de sedentarización y dan paso a los grupos indígenas que se establecen sobre terrazas, transforman los niveles hídricos de su entorno y tienen un amplio conocimiento de prácticas agrícolas, las cuales son capaces de sostener poblaciones densas (Botiva *et al.*, 1989; Castaño, 2003).

Los primeros grupos Muisca, compartían algunas similitudes con los humanos de periodos anteriores, en cuanto al conocimiento y transformación de la naturaleza de la Sabana, sin embargo, el desarrollo cultural y tecnológico de estos grupos premuisca fue abrumador con respecto a los grupos de Amerindios que coexistían sobre este territorio (Cardale De Schrimpee, 1976).

Por último, es de vital importancia, reconocer los procesos culturales de la sociedad Muisca, ya que a partir de la cosmovisión que estos desarrollaron, se dio origen a una serie de sistemas jerárquicos complejos y una rica tradición oral sobre la creación del mundo y del ser humano, en la cual hay que destacar la estrecha relación entre los ciclos físicos del territorio, los animales, las plantas y su mundo espiritual (Correa 2005). Adicionalmente, gran parte de sus creencias quedaron plasmadas en pictografías, cerámicas, elementos de cobre, oro, carbón, tejidos, así como una gran cantidad de camellones que componían la red hídrica hecha por los indígenas en este territorio (Langebaek, 1987; Van der Hammen, 2003).

2.4. La Cosmovisión Muisca

En términos muy generales, el mundo espiritual de los Muisca comienza con la creación del universo, el cual, en un principio era total oscuridad hasta que el Dios *Chiminigagua* envía a sus cuervos para iluminar los cuerpos celestiales que existían en él, posteriormente, *Chiminigagua* desciende del sol a la sagrada Laguna de Iguaque en forma de serpiente para dar origen a *Bachué*, madre de los muisca y su joven acompañante, los cuales aprendieron a cazar, recolectar, manejar el fuego, crear herramientas, cultivar y fueron poblando la tierra a medida que sus hijos muisca aprendían las habilidades de sus padres (Correa, 2004).

Con base en esto, hay que destacar tres dinámicas de esta sociedad; primero, la visión matriarcal de esta sociedad, segundo, el hilo conductor entre el mundo terrenal y sus dioses, eran las lagunas y gran parte de los ecosistemas acuáticos, dando como resultado una sociedad indígena, cuyo respeto y protección hacia las mujeres y la naturaleza, en especial el agua, era su objetivo principal, ya que de este se desprendía el éxito de los procesos de supervivencia, así como el equilibrio espiritual del territorio (Correa, 2005).

Ahora bien, los Muisca eran fieles a su creencia de ser los hijos descendientes del Sol, llamado *Xue*, ya que *Chiminigagua*, descendió desde el y era considerado como la deidad sublime que fertilizaba todos los días el territorio (Castaño, 2003). Aún más, la descendencia solar fue representada por los muisca en una forma antropomórfica, *Chiminigagua*, envía su mensajero a la tierra, llamado *Bochica*, el cual es el encargado de crear el salto del Tequendama para desaguar la sabana, enseñar a los Muisca técnicas innovadoras de agricultura, metalurgia, arte rupestre, arte de tejer y estableció un nuevo orden político que perduro hasta la llegada de los españoles (Villamarín, 2015).

2.5. Sistema Político de los Muisca

La sociedad muisca estaba distribuida en términos muy generales en cuatro unidades principales, las cuales se conformaban por uno o varios Cacicazgos (Castaño, 2003). Estos operaban a partir de gobernantes, poblados dominantes, subdominantes y dominados, cada uno con un rango jerárquico diferente, los cuales eran obtenidos por herencia materna, es decir, el hombre que heredaba, debía ser el hijo de la hermana o hermanas del gobernante (Correa, 2004).

Los cacicazgos estaban divididos en clanes denominados *Zybyn*, constituidos por varias familias o grupos de familias con una cultura e idioma similar, los cuales tenían la particularidad de distribuir de manera relativamente armónica las riquezas y productos del cacicazgo. Así mismo el territorio de cada *Zybyn* o clan, estaba gobernado por un jefe llamado *Zibyntyba* y este a su vez respetaba el gobierno autónomo de los poblados independientes que hacían parte de su territorio y eran gobernados por un jefe denominado *Tybarague* comunitaria (Botiva *et al.*, 1989).

El Cacicazgo del *Zipa*, fue la unidad central de este imperio, desde allí, el *Zipa* manejaba el mayor poder político y administrativo del imperio Muisca (DAMA, 2000). Esta unidad incluía los territorios de Bogotá, Fusagasugá, Ubaque, Ubaté y Zipaquirá (Castaño, 2003).

La segunda unidad más densamente poblada fue el Cacicazgo del *Zaque* que incluía el territorio de Tunja y Ramiriquí, adicionalmente, Tanto el *Zipa* como el *Zaque*, intentaban mantener estrechas relaciones comerciales y políticas, con el fin de evitar las constantes rivalidades por el control del territorio (Langbaek, 1987).

La tercera unidad se ubicaba en el territorio de Sugamuxi, con los Cacicazgos de Tundanza, Monguí, Cuitiva y tuvo una gran importancia espiritual, debido a que allí se estableció el templo solar más sagrado de los Muisca, en el cual los indígenas dejaban ofrendas de oro, tejidos, semillas, cerámicas, entre otros objetos (Correa, 2005).

Por último, los Zybyn autónomos e independientes, constituían la cuarta unidad en el territorio Muisca, estaba conformada por los cacicazgos de Sachicá, Tinjacá, Raquirá, Saboya, Chipatá, Charalá y Monquirá, los cuales no se habían centralizado bajo un mismo gobernante, sino que hacían parte de la etnia Muisca, bien sea pagando tributos al sistema administrativo muisca o intercambiando productos con otras culturas indígenas (Langebaek, 1987; Botiva *et al.*, 1989).

Los límites del imperio Muisca eran defendidos por los “Guechas”, militares y soldados muisca que estaban en continuo conflicto con Pijaos, Sutagaos, Panches, Colimas, Muzos, Carares y demás grupos indígenas de las tierras bajas de Colombia (Castaño, 2003). Sin embargo, existía una tregua entre estos grupos indígenas y los muisca, cuando se iba a realizar el intercambio de productos, en especial la sal, debido a que a los Muisca eran expertos en la explotación y transformación de la sal, con técnicas de secado y compactación muy sencillas, pero muy efectivas para el transporte y conservación de este preciado elemento en las culturas precolombinas (Cardale de Schrimpee, 1981).

2.6. El Triángulo de la Fertilidad (Agua, Tierra, Sol)

Los Muisca desarrollaron una estrecha relación espiritual con tres elementos principales; el agua, denominada *Sie*, el Sol, *Xue* y la tierra, debido a que estos elementos eran la base para la agricultura, la fecundación, la unificación, la labranza y el próspero desarrollo de su sociedad, así pues, el triángulo está ampliamente expresado a lo largo del territorio Muisca en su iconografía pictográfica, su cerámica, tejidos, metalurgia y en todos los desarrollos culturales que tuvieron hasta la invasión española (Correa, 2005).

Estas condiciones espirituales, permitieron entender a estos indígenas, cuáles eran las mejores épocas para cultivar, en que parte, que especies y durante cuánto tiempo (Villate, 1998). Tal era la conexión entre el sol, el agua y la tierra para esta sociedad, que el éxito en los procesos reproductivos, debía ocurrir en los espacios donde confluyeran estos tres elementos, por lo cual, gran parte de las relaciones sexuales, sucedían en los humedales y campos de cultivo, debido a que estos espacios, además de ser lugares de caza y pesca, conectaban los tres elementos sagrados y se creía que había una mayor probabilidad de reproducción (Castaño, 2003).

2.7. El manejo de los Muisca sobre su territorio

Las interrelaciones entre glaciares, paramos, bosques de niebla, lagunas, ríos, quebradas y turberas descritas en el capítulo anterior, permitieron la íntima relación entre el ser humano y los regímenes hídricos de la Sabana (Van der Hammen, 2003). Adicionalmente, estas condiciones dieron como resultado que los Muisca desarrollaron un manejo sostenible del recurso hídrico, con la construcción de una serie de estructuras de tierra, ubicadas en las riveras del río Bogotá, principalmente en los valles de inundación que se formaban a lo largo de la sabana; los cuales cumplían las funciones de evitar inundaciones, regar y drenar cultivos, como sitios de pesca y espacios de forrajeo para roedores, venados y aves (Calvachi, 2003).

A partir de esos conocimientos, la agricultura indígena empezó la transformación antrópica de la Sabana, dando paso a la construcción de terrazas de cultivo y camellones de gran tamaño (figura 3), elevando las tierras unos 3 metros sobre la superficie natural, estos camellones y terrazas estaban separadas hasta 25 metros y tenían un longitud hasta de 500 metros (Van der Hammen, 2003).

Estas estructuras formaban canales por donde circulaba el exceso de agua cuando el río se desbordaba o acumulando limos fértiles del río en periodos de baja precipitación (Santiago, 2012). Así mismo, estas zanjas eran sitios de cultivo de peces que se habían consumido desde el periodo Herrera, en especial el pez capitán de la sabana y diferentes especies de crustáceos (Calvachi, 2003).



Figura 3: Fotografía aérea Instituto Geográfico Agustín Codazzi de 1952 en la cual se observa los antiguos campos de cultivo Muisca en el área inundable del Río Bogotá (centro-izquierda), sector del Humedal La Conejera. (Tomado de Van der Hammen 2003)³

³ Van der Hammen, T 2003. *Los humedales de la Sabana: origen, evolución, degradación y restauración*. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Acueducto de Bogotá & Conservación Internacional. Vol. I. pt. 1. Bogotá.

De esta manera, las Chucuas, como eran denominados estos primeros humedales transformados por los Muiscas, hicieron parte del paisaje y dinámica ecosistémica de la sabana, hasta la invasión de los españoles a partir del siglo XV, proceso que llevo a la desaparición casi completa de las comunidades indígenas que habitaron los territorios de Colombia y trajo consigo un cambio drástico en cuanto el uso de la tierra y el agua (Van der Hammen, 2003; Andrade, 2003; Castaño, 2003).

Ahora bien, es de suma importancia, entender el poblamiento precolombino sobre los humedales de la Sabana de Bogotá, ya que según lo puntualizado anteriormente sobre estos grupos humanos, el conocimiento que adquirieron a través del saber empírico de este territorio, les permitió concebir una visión ecosistémica de estos espacios, ligada a la protección, conservación y adoración de estos ecosistemas acuáticos, conceptos muy importantes para equilibrar los procesos naturales que ocurrieron en los humedales de la Sabana.

De modo similar, esta visión holística sobre el manejo de los humedales naturales y “Chucuas”, junto con la complejidad jerárquica de las sociedades Indígenas, destacan las dinámicas comunales del territorio, las cuales, consideró muy apropiadas en el momento de crear programas o proyectos con miras a la protección y recuperación de los Humedales de Bogotá, de tal forma que puedan mantenerse en el tiempo y la comunidad pueda ser parte integral en estos procesos.

CAPITULO 3. Los Humedales de Bogotá en el Periodo Colonial

3.1. Historia

A inicios del siglo XVI, la expedición de Gonzalo Jiménez de Quesada, proveniente de Santa Marta, parte con 600 hombres, con el fin de llegar a Perú y conseguir los grandes tesoros de los Incas. De esta manera navega una gran parte del Río Magdalena y consigue saquear algunas poblaciones y reclutar aliados indígenas a lo largo del recorrido; sin embargo, al cabo de ocho meses, la expedición había sufrido muchas bajas y se da cuenta que el Perú es más lejos de lo que tenían previsto, por lo cual, empezaron a buscar otra alternativa para que el viaje no fuera un fracaso económico (Gamboa, 2013).

Para ese entonces, ya se hablaba entre los exploradores europeos de sitios llenos de oro en los territorios de la Sabana, por lo cual, la expedición toma como nuevo rumbo la búsqueda estos espacios, de manera que los españoles empezaron a notar la presencia de poblaciones ribereñas que vestían prendas muy finas con diseños pintados y no consumían sal marina, sino una sal, con una textura granulosa que estaba en bloque y provenía de la cordillera que se veía en el oriente (Gamboa, 2013)

Estos hallazgos, motivaron a Quesada a remontar la cordillera oriental por el río que llamaron Opón, hasta llegar al altiplano Cundiboyacense, en donde gran parte de sus soldados sucumbieron ante la vegetación, los animales salvajes, las enfermedades tropicales y las drásticas condiciones climáticas que se presentaban al atravesar las altas montañas, sin embargo, 170 hombres sobrevivieron e iniciaron la consolidación del dominio español en toda la zona central del territorio colombiano, fundándolo como el Nuevo Reino de Granada, cuyo epicentro económico y cultural es *Santafé*, es decir lo que hoy se conoce como Bogotá (DAMA, 2000)

De esta manera, los invasores españoles se adentran en el altiplano Cundiboyacense, hallando una sociedad indígena muy prospera, en donde las exitosas técnicas agrícolas y su intrincada política social, permitieron que estos hombres hallaran una población muy densa que se distribuía a lo largo de la Sabana, la cual aprovechaba de manera sostenible cada lugar de la Sabana para garantizar su supervivencia y cosmovisión (Andrade, 2003).

3.2. La Colonización de Bogotá y su Sabana

La conquista de este territorio por parte de los españoles, fue como la mayoría de las dinámicas en gran parte del continente americano, es decir; una vez se conocía la ruta de acceso al territorio, se importó desde España, cerdos, cabras, vacas, gallinas, burros entre otros animales (Van der Hammen, 2003). Por otra

parte, soldados, militares, sacerdotes y criminales no aceptados en el territorio hispano, se establecieron en los territorios de la Sabana y gradualmente empezaron el exterminio de los Muisca y sus creencias (Gamboa, 2013).

La evangelización de los indígenas que sobrevivieron a esta oleada de exterminio, fue acelerada, mediante un encomendero; una figura política impuesta por los españoles en los cacicazgos, el cual era principalmente un indígena que había aprendido y aceptado todas las creencias de los españoles y su labor era convertir al resto de los indígenas a la fe católica (Zambrano, 2011).

Es importante recalcar que estas transformaciones culturales se incrementaron, con la modificación de los cultivos y bosques, así como ríos, quebradas, humedales y en especial lagunas fueron drenadas, debido a que en ellas se hallaba una gran cantidad de figuras de oro producto de las ceremonias espirituales que ofrecían los Muisca a sus Dioses (Márquez, 2003)

3.3. Transformación de Bogotá y su Sabana

Durante la conquista española en este territorio, comenzó un cambio gradual en cuanto la relación del ser humano y la naturaleza, de esta manera, los humedales ahora eran vistos como tierras perdidas para la agricultura y la ganadería, por lo cual empezaron el drenaje y desecamiento progresivo de algunos de estos (Van der Hammen, 2003). Afortunadamente, la restringida capacidad tecnológica y de inversión por parte de los colonos españoles que se establecieron en estos territorios, resultaron en cambios físicos muy limitados, por lo tanto, los humedales durante este periodo fueron usados principalmente para el transporte, extracción de madera, plantas, la caza, la pesca y la recreación (DAMA, 2000; Andrade, 2003);

Estas dinámicas de ocupación y transformación del territorio, crearon la necesidad de potreros de gran extensión para sus animales, así como grandes extensiones de tierra para el cultivo de trigo, cuyo mantenimiento y desarrollo, requería formas de manejo del suelo completamente diferentes a las que se habían hecho a lo largo de los periodos anteriores sobre este territorio (Van der Hammen 2003). Por consiguiente, los antiguos sistemas de cultivo poco a poco fueron abandonados, la sabana se llena de zanjas largas para evacuar rápidamente el agua y disminuir el nivel freático de la sabana, se construyen jarillones en la orilla de los ríos para evitar la inundación de los valles y junto al ganado, dan inicio a la rápida eutrofización de los humedales de la sabana de Bogotá (DAMA, 2000; Andrade, 2003).

Así pues, de los cacicazgos se pasa a las haciendas de propiedad particular, cuyas extensiones además de ser muy amplias, abarcan resguardos indígenas, los cuales lentamente van desapareciendo bajo las dinámicas de ocupación colonial (Botiva *et al.*, 1989). Así mismo, gran parte de la vegetación, en especial

los arboles de madera muy fina, son talados y exterminados tanto en la planicie como en los cerros de la Sabana, dinámica que obedece a la necesidad de obtener abundante madera para la cocción de las carnes rojas, la construcción de muebles, barcos, puentes, viviendas, la cocción del barro y arcillas para la elaboración de tejas entre otras necesidades del imperio español para el desarrollo de sus colonias (DAMA, 2000).

De esta manera, la línea de sucesión de la vegetación original (figura 4), con las poblaciones dominantes de *Weimannia*, *Alisus*, *Illex*, *Juglans*, *Quercus*, y demás especies arbóreas y arbustivas características de la sabana desaparecen (Rangel, 2003). Estas especies endémicas fueron reemplazadas por grandes extensiones de especies arbóreas del hemisferio norte como el *Eucalipto*, *Sauce* y *Acacia*, igualmente los árboles frutales como durazno, cereza y plantas herbáceas como el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), van a sustituir la vegetación herbácea local en la zonas planas de la sabana y van a ser los elementos principales que van a sostener las dinámicas agropecuarias en este territorio (DAMA, 2000).

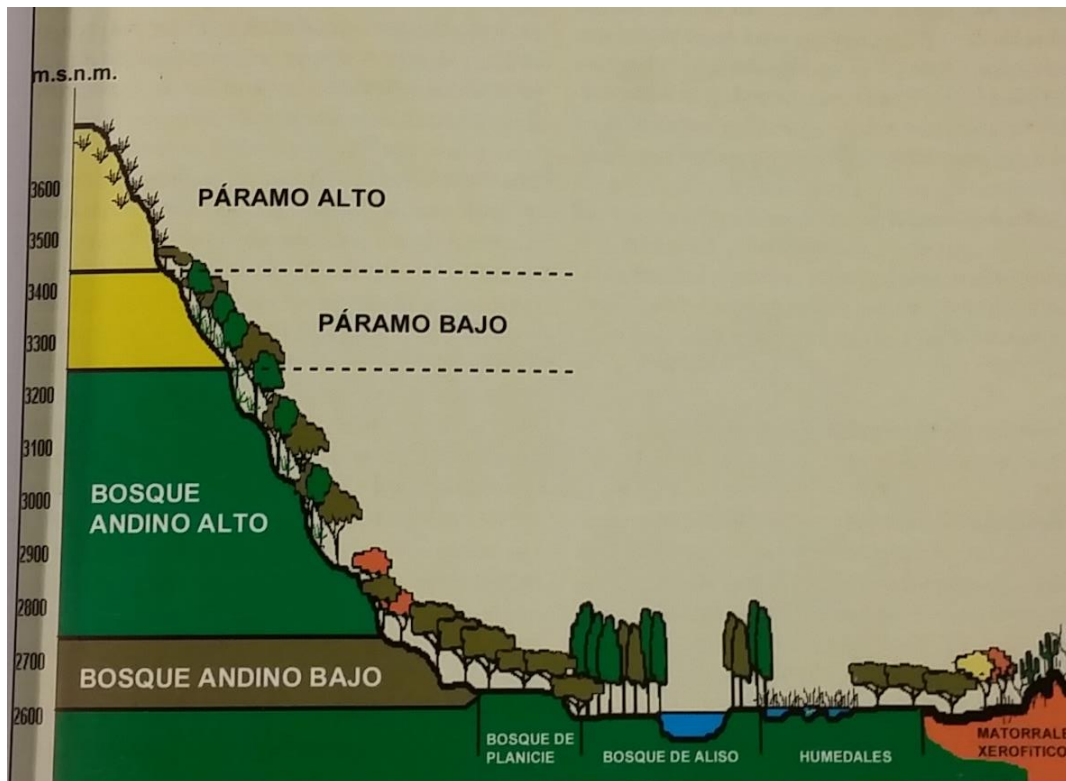


Figura 4: Línea original de sucesión vegetal en la Sabana de Bogotá. En: El antiguo lago de la Sabana de Bogotá, su vegetación y flora en el tiempo. (Tomado de Rangel, 2003)⁴

⁴ Rangel, O. 2003. *El antiguo lago de la Sabana de Bogotá, su vegetación y flora en el tiempo*. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Acueducto de Bogotá & Conservación Internacional. Vol. I. pt. 1. Bogotá.

Ahora bien, los españoles usaron estas especies principalmente por tres razones: La primera consiste en recrear e imponer parte de su vegetación sobre estos territorios, de manera que la dieta, cultura y poder español, proliferaban aceleradamente en estos territorios (Cavelier, 2006).

La segunda, se dio como una solución a los problemas de salubridad en los pueblos fundados, principalmente *Santafé*, debido al pésimo manejo de basuras y aguas negras, gran parte de los desechos se acumulaban en las calles, principalmente en épocas de baja precipitación, generando olores desagradable y vectores de enfermedad (DAMA, 2000).

Finalmente, como se mencionó anteriormente, la urgencia de evacuar el agua lo más rápido posible de la sabana, con el fin de imponer la visión de desarrollo agropecuario español (Andrade, 2003).

3.4. Visión de los Humedales en la Colonia

A pesar de las nuevas dinámicas que se presentaban en el territorio de la sabana, los humedales aun conservaban una gran diversidad de mamíferos, reptiles, anfibios, peces y en especial aves (Calvachi, 2003). Por lo tanto, es bien conocido en las narraciones de los cronistas españoles, como en estos territorios las bandadas de miles de patos de diferentes especies locales y migratorias, se establecían en estos espacios, así como abundantes venados, curíes y nutrias hacían parte de la rica diversidad de estos ecosistemas (Van der Hammen, 2003; Molina, 2006).

Durante todo el periodo colonial, los humedales fueron usados como tuberías naturales de aguas negras y desechos generados por los pueblos que iban fundando los españoles en el altiplano Cundiboyacense, razón por la cual, una serie de epidemias y enfermedades pudieron ser más desastrosas en este territorio de no haber sido por la capacidad filtradora de los humedales (DAMA, 2000).

Es decir, la capacidad de eliminar una cantidad alta de materia orgánica que ingresa al humedal, a través de las interacciones de los microorganismos que se desarrollan en raíces y tallos de las plantas, así como una intrincada red de espacios físicos que permiten crear condiciones biológicas adecuadas para que los procesos de depuración puedan ocurrir (Pérez & Rojo, 2000).

Sin embargo, la ignorancia con respecto al funcionamiento ecosistémico de los humedales por parte de los colonos, no les permitía ver la conectividad de los humedales con sus ecosistemas adyacentes, aún más, la salida de sus aguas, iban directamente a los ríos de donde la población tomaba el agua y sin ningún tipo de tratamiento era canalizada y distribuida a una pila comunal, por tal motivo grandes pestes y enfermedades locales como extranjerías, arremetieron y

diezmaron en determinados años la demografía de la población de la Sabana (Molina, 2006).

A raíz de esta situación, a finales del siglo XVI, se construyó el primer acueducto de Santafé, como era conocida Bogotá hasta el siglo XIX, este se componía de una acequia a cielo abierto, revestida con piedra, ladrillo y cal, la cual se alimentaba del Rio San Agustín y atravesaba una densa capa de vegetación nativa sembrada por los Indígenas, para después bajar por los cerros hasta llegar a predios particulares y finalmente a la pila pública (DAMA, 2000).

Posteriormente, a mitad del siglo XVII, el gobierno colonial inicia la construcción de puentes y jarillones, con el fin de controlar las inundaciones de ríos, quebradas, lagunas y humedales que se veían afectadas por el incremento del caudal del rio Bogotá, situación que obedecía a las dinámicas normales de estos ecosistemas sobre este territorio (Van der Hammen, 2003).

En cuanto a la evolución del conocimiento científico de la vegetación de la sabana, la colonia española realizó muchos avances, siempre motivados por la necesidad de conocer cuáles plantas y productos derivados de ellas, eran los mejores para exportar a Europa y de esta manera aumentar el poderío económico del imperio español (Piedrahita, 2009).

No obstante, estas dinámicas permitieron que científicos como José Celestino Mutis a finales del siglo XVIII, habilitara una hacienda, en la cual creó un jardín botánico para la investigación en flora de las riberas del rio Bogotá, sus lagos y humedales, la cual sirvió como guía para que en 1783, este científico dirigiera la famosa Real Expedición Botánica, la cual inició en los cerros orientales de Bogotá y terminó agrupando un gran estudio de la vegetación Colombiana a diferentes pisos térmicos (DAMA, 2000 & Rojas, 2000).

3.5. El inicio de la República de Colombia

A principio del siglo XIX, las guerras de independencia a lo largo del imperio español en el continente americano, junto a las guerras con otros imperios Europeos, provocaron la caída gradual del imperio español en el territorio Colombiano (Hettner, 1976). De esta manera, se formó un gran ejército compuesto por mestizos, Indígenas y Afrodescendientes, los cuales veían en sus comandantes criollos, la mejor ruta hacia la libertad de la opresión española; así pues, estos libertadores, son los encargados de dirigir y obtener de manera simbólica la independencia de España el 20 de julio de 1810, en los territorios que eran conocidos como el Reino de la Nueva Granada (Rodríguez, 2010).

Sin embargo, es importante aclarar, que los líderes de la independencia Colombiana, eran hijos de españoles que habían nacido en territorio suramericano, por lo tanto, los diferentes intereses económicos sobre este territorio por parte de estos libertadores, provocaron constantes choques,

divisiones políticas y la mínima participación de los grupos mestizos, Indígenas y Afrodescendientes en la creación y fortalecimiento del nuevo país (Ocampo, 2006).

Por consiguiente, el imperio español reconquistó los territorios perdidos y es hasta 1919 cuando se da la retirada final de los españoles, creando lo que hoy en día conocemos como la República de Colombia (Restrepo, 2009).

Con base en los aspectos históricos descritos en este capítulo, es importante sintetizar las dinámicas ecológicas y culturales que trajeron, la conquista y la transformación de los humedales de Bogotá por parte de los invasores españoles, ya que de esta forma, es posible comprender parte de las ideas o visiones que se tuvieron en cuenta desde la formación de la República de Colombia hasta la gestión actual que se realiza a los humedales de Bogotá.

Por lo tanto, considero que las dinámicas en cuanto a la pérdida de diversidad en flora y fauna, la disminución y contaminación de la oferta hídrica, la eutrofización acelerada y desecación de los humedales, así como, la desconexión entre los ciclos naturales y el ser humano, la mala planificación de los pueblos fundados y el arraigado racismo entre la sociedad colonial, fueron los aspectos más relevantes que hicieron parte de la evolución y manejo de los humedales naturales de Bogotá.

Así pues, sugiero la necesidad de reflexionar sobre estas dinámicas de ocupación, con el fin de mejorar las visiones erradas que se tuvieron a lo largo de la época colonial sobre estos espacios y mediante un enfoque holístico, entender el funcionamiento de estos ecosistemas, de manera que se pueda garantizar una mayor protección y recuperación de estos.

CAPITULO 4: Los Humedales de Bogotá en el Siglo XIX

Una vez constituida La República de Colombia y tras el Congreso de Angosturas en 1819, la mayoría de los procesos históricos, en cuanto a la visión de los lagos y humedales descritos en el capítulo anterior, se mantuvieron casi intactos, es decir, los humedales y lagos continuaban distantes de Bogotá, debido a que esta ciudad había evolucionado sobre los actuales cerros de Monserrate y Guadalupe, y su desarrollo urbano no había afectado de manera irreversible el funcionamiento de estos ecosistemas (DAMA, 2000).

Ahora bien, la naciente República inicia un proceso de redescubrimiento del territorio a través de los trabajos de científicos europeos y colombianos, dando como resultado en la mitad del siglo XIX, la Comisión Corográfica comandada por el coronel Agustín Codazzi y su secretario Ancizar; en este trabajo se levantó el mapa general de la República de la Nueva Granada y sus provincias, situación que ayudó a darle una existencia a los humedales a pesar de que esta fuera muy limitada o de poca importancia para la población (Rojas, 2000).

Así pues, vale la pena resaltar los aspectos más relevantes que han originado los procesos actuales que viven los humedales de la ciudad, con el fin de continuar con guía histórica de los procesos que han ocurrido en estos ecosistemas desde que nuestra Nación se independizó de España.

4.1. Historia

A finales del siglo XVIII, Bogotá tenía aproximadamente 20.000 habitantes y según el censo de 1843 ya contaba con 40.086, es decir, el doble de la población, que a su vez soportaba la ausencia de redes de acueducto y alcantarillado, con un marcado desinterés por el medio ambiente implantado por los españoles (DAMA, 2000). Esto trajo como consecuencia grandes problemas sanitarios para la ciudad, ya que las basuras y aguas servidas, eran simplemente vertidas a los ríos Fucha, Arzobispo, San Francisco y San Agustín, los cuales eran las fuentes de donde se abastecía la población y a su vez transportaban toda esta carga contaminante a los humedales que se ubicaban en el norte, sur y occidente de la ciudad (Osorio, 2007).

Estas dinámicas de ocupación, permiten ver de nuevo la importancia ecológica que estaban cumpliendo los humedales como plantas de tratamiento naturales desde la época colonial hasta este periodo, eliminando una gran carga contaminante proveniente de las actividades humanas a costo de ser ignorado por la sociedad (Márquez, 2003). Esta desconexión entre la sociedad bogotana y los humedales, considero que se presentaba por dos razones principales:

La primera es que los Lagos y humedales habían sido sagrados para los Muisca y en ellos se desarrollaban gran parte de sus ceremonias culturales, sin embargo, para el invasor, estos espacios eran los sitios en donde los Indígenas realizaban ritos para adorar al diablo, por lo tanto fueron satanizados y sistemáticamente olvidados o ignorados por la sociedad colonizada (Calvachi, 2003).

En segundo lugar, la ciudad que se había erguido desde la colonia, se ubicaba en lo que hoy se conoce como el centro histórico de Bogotá, lejos de los Lagos y humedales de la parte sur, norte y occidental de la ciudad, en donde la población era muy escasa o dispersa y al interior de muchos de estos ecosistemas, se encontraban las exclusivas haciendas de los españoles (Osorio, 2008).

Esta dinámica de ocupación, fue cambiando a medida que la ciudad empezaba a desbordar los límites naturales de los ríos anteriormente mencionados que surcaban a la ciudad, así mismo, el incremento de la población seguía a un ritmo acelerado y trajo como consecuencia grandes problemas de hacinamiento, lo que conllevó a que las grandes casas coloniales tuvieran que subdividirse en tres o más viviendas independientes, costumbre que perduró hasta finales del siglo XIX (DAMA, 2000).

Por otra parte, estas situaciones acrecentaban mucho más la posibilidad de un colapso sanitario en la ciudad, debido a que desde la colonia, las aguas servidas y las basuras, corrían libremente sin ningún tipo de tratamiento por las calles, plazas y los canales en el centro de las calles o caños públicos como eran denominados estas estructuras coloniales (figura 5) (Palacio, 2008).



Figura 5: Grabado donde muestra las típicas calles coloniales en Bogotá con el caño público en la mitad de esta. Tomado textualmente de DAMA (2000).

A raíz de las situaciones de insalubridad mencionada anteriormente, el gobierno de la ciudad vio la necesidad de crear un sistema de alcantarillado, con el fin de evacuar por medio de tuberías de hierro las aguas negras, de manera que en 1877 se construyen las primeras alcantarillas de Bogotá (DAMA, 2000). Sin

embargo, las innovadoras tuberías realizaban sus vertimientos en los ríos que rodeaban a la ciudad, arrojando una gran carga contaminante a estos, los cuales finalmente desembocaban en los humedales, afectando progresivamente las dinámicas ecológicas de la flora y fauna de estos ecosistemas pero en especial, el alimento y recurso hídrico que los pobladores, en especial la limitada población Indígena que con el permiso del hacendado obtenían en estos lugares (Rodríguez, 1984).

Estas dinámicas demográficas junto a los desarrollos urbanísticos que se estaban realizando en Europa en pro de la salud pública, dio como resultado la necesidad de cambiar el efímero sistema de distribución de agua que poseía la ciudad y en 1886, el gobierno de Bogotá dio vía a la construcción de su primer acueducto, el cual funciono entre 1888 y 1914, periodo en el cual distribuyo el recurso proveniente de los ríos San Agustín y San Francisco (Osorio, 2008).

No obstante, al agua no se le aplicaba un tratamiento adecuado, ya que únicamente poseía cajas desarenadores y en épocas de invierno y parte del verano, el recurso era distribuido con excrementos humanos y animales, de tal forma que gérmenes muy peligrosos como el tifo y disentería eran dispuestos a la población, aumentando de manera peligrosa la mortalidad de la población bogotana (DAMA, 2000).

A finales del siglo XIX, la Bogotá centralizada afrontaba grandes problemas de hacinamiento, insalubridad y pocas vías de comunicación con el resto de la sabana (Palacio, 2008). De esta manera, surge Chapinero (figura 6), el primer barrio periférico de la ciudad, en el que habitantes de todas las clases sociales buscan una mejor calidad de vida, lejos de los focos de infección, el hacinamiento y un ambiente campestre, así mismo, esta propuesta fue muy fructífera gracias a la construcción de los primeros medios masivos de transporte como fue el tranvía de mulas "*The Bogotá City Railway Company*" en 1884 y el Tren de la Sabana puesto en servicio en 1889, infraestructura de vital importancia que definió la dirección de los primeros procesos urbanísticos en Bogotá (DAMA, 2000).

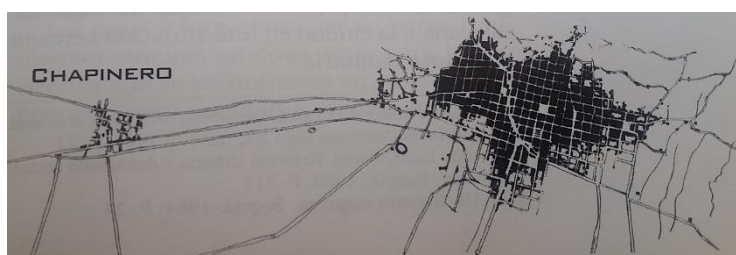


Figura 6: Ubicación de Chapinero con respecto a Bogotá en 1880. Tomado textualmente de DAMA (2000).

4.2. Aspectos biofísicos

En la primera parte del siglo XIX, los humedales de Bogotá conservaban gran parte de su vegetación original, es decir, sobre estos ecosistemas, las especies arbóreas como el Aliso (*Alisus sp.*), Cedro (*Cedrela montana*) y palo blanco (*Ilex kunthiana*) interactuaban con especies arbustivas como el arboloco (*Smalanthus pyramidalis*), Raque (*Vallea stipularis*), borrachero (*Brugmansia sp.*), arrayan (*Myrcianthes leucoxylla*), entre otros (Ruiz, 2008). Estas especies se establecían principalmente en los límites del espacio terrestre de los humedales y partes bajas de los cerros cercanos, que a su vez poseían una excelente oferta de alimento para aves y algunos mamíferos pequeños (Calvachi, 2003).

Por otra parte, en la zona anfibia de los humedales, se encontraban plantas herbáceas como la margarita de pantano (*Senecio carbonellii*), el cujaco *solanum torvum*, el chilco (*Baccharis latifolia*), entre otros, hasta encontrar poblaciones más densas de plantas acuáticas como el Junco (*Juncus ramboi columbianus*), el barbasco (*polygonum punctatum*), las juncias o cortaderas (*Carex sp.*), la sombrillita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*), la lengua de vaca (*Rumex sp.*), *Ludwigia sp.*, entre otras especies, las cuales se establecían en las zonas inundables temporales o en los bordes del espejo agua (Andrade, 2003).

A pesar de la construcción de jarillones que no permitían la llegada del río a varios humedales en las épocas de inundación, el mosaico de especies vegetales, generaba un ecosistema saludable, con una red de lagos y humedales que en su mayoría se intercomunicaban y eran alimentados por las abundantes quebradas que existían en este periodo (Camargo, 2003).

Parte de esta riqueza hídrica ya empezaba a ser importante para la ciudad, de allí que en 1881, el almanaque de Bogotá hacía un gran énfasis en la riqueza hidrológica, principalmente como un estímulo para los turistas extranjeros y en menor medida para informar a la población de las bondades que ofrecía este territorio (Rojas, 2000). Incluso, el estado de los ecosistemas adyacentes a los humedales, es decir ríos y bosque ripario, eran lo suficientemente eficientes para que los humedales, por una parte, soportaran eventos estocásticos y conservaran parte de su resiliencia y por otra eran usados para desarrollar actividades agropecuarias (Vidal *et al.*, 2003).

Ahora bien, el equilibrio de la vegetación endémica de los humedales, empezó a verse amenazado por las actividades antrópicas, debido a que entre 1857 y 1867, la introducción del eucalipto fue un dinamismo para aumentar la velocidad con la que se quería secar los humedales para fines agrícolas o pecuarios (Ruiz, 2008). De esta manera, la siembra masiva de eucalipto, no solo reemplazó a las plantas nativas, sino también le quitaba gran parte de los nutrientes y agua a las plantas que no habían sido taladas, de tal forma que el deterioro en los procesos ecosistémicos y el desagüe sobre estos ecosistemas tomaron un ritmo muy acelerado (Van der Hammen, 2003).

En cuanto a la fauna, se destacaba la abundancia armadillos (*Dasyopus novemcinctus*), venados (*Odocoileus virginianus*), comadrejas (*Mustela frenata*), borugos (*Cuniculus taczanowskii*), curies (*Cavia porcellus*), zorros (*Urocyon cinereoargenteus*), faras (*Didelphis pernigra*), peces como el capitán y la guapucha, el cangrejo sabanero (*Neostrengeria macropa*) e innumerables especies de aves que hacían parte de los humedales (Rojas, 2000). Esta riqueza de animales, hacía de estos ecosistemas, sitios por excelencia para la caza “deportiva” y obtención de alimentos, sin embargo, las personas que podían obtener estos privilegios, eran en su mayoría los hacendados, los extranjeros y en una pequeña proporción la población indígena o campesina que aún existía (Ruiz, 2008).

4.3. Sociedad y Humedales

La exuberancia de los grandes lagos y humedales de Bogotá y sus alrededores, animaron a muchos viajeros europeos a escribir en sus anécdotas sobre los cristalinos lagos, en donde la caza de aves y mamíferos pequeños, eran elementos importantes en los mercados de la ciudad y un deporte bastante común entre las elites sociales de esta época (Andrade, 2003). Aún más, la belleza y grandeza de la biodiversidad de la Sabana, era un sitio ideal para los científicos Europeos, los cuales al atravesar Bogotá, corroboraban los hallazgos científicos de Humboldt y el conocimiento ancestral que tenían los Indígenas sobre su territorio y de como el gran lago que cubría la Sabana fue secándose y drenando sus aguas hacia el occidente de la Sabana por acción de su Dios civilizador Bochica (Rojas, 2000; Van der Hammen, 2003).

A pesar de las adversidades que tenían los humedales bogotanos durante el siglo XIX, estos ecosistemas permanecieron con una rica diversidad y fertilidad en sus suelos, irónicamente, gracias al modelo colonial de las haciendas, las cuales con su poca infraestructura y el manejo que le daban a su territorio, conservaban gran parte de las funciones ecológicas de los humedales y por ende la biodiversidad de estos lugares no había desaparecido del todo (DAMA, 2000). Así pues, el uso principal que se le dio en estos primeros años era la pesca, la caza, la recreación pasiva, como medio de transporte para la extracción de juncos para elaborar artesanías y árboles de madera muy fina como el Cedro, el Nogal, entre otros (Andrade, 2003).

Sin embargo, a mitad del siglo XIX, las transformaciones paisajísticas de los humedales al igual que las haciendas que allí se encontraban, sufren un cambio muy importante con la introducción de las coníferas, el alambre de púas para limitar los terrenos y la explosión demográfica de la ciudad, de manera que la biodiversidad y disponibilidad del recurso hídrico se iban viendo cada vez más amenazados tanto en calidad como en cantidad para la población (Ruiz, 2008; Palacio, 2008).

Estos factores también ocasionaron la deforestación y pérdida de la cobertura nativa de los cerros orientales, situación que acrecentó la disminución de la oferta hídrica, la contaminación de las quebradas y produjo que una parte de la población campesina e indígena, se viera obligada en algunas ocasiones a cocer sus alimentos con estiércol de ganado, debido a la ausencia de vegetación arbórea y los elevados costos de la madera en los mercados locales de la época (Osorio, 2008).

En cuanto a los aspectos jurídicos, los humedales no tenían ninguna protección o simplemente eran invisibles para el gobierno local y nacional, debido en gran parte a los constantes enfrentamientos por parte de liberales y conservadores que desde el inicio de la independencia habían estado en guerra por el control político de los pueblos independizados, de manera que durante todo el siglo XIX, los humedales, pantanos o charcos permanecieron en el limbo jurídico y bajo un concepto de espacios insalubres, peligrosos, diabólicos o en muchos casos, un obstáculo para la producción agropecuaria de la ciudad (Méndez, 2014)

En conclusión, durante el siglo XIX, los principales cambios que alteraron la funcionalidad ecológica de los humedales fueron, el aumento progresivo de las descargas de aguas residuales a las quebradas y ríos usados por la población, la introducción de algunas especies exóticas, los vacíos jurídicos sobre estos, la deforestación de los cerros orientales, la propiedad privada sobre los recursos naturales, el inicio de la explosión demográfica, la pérdida de especies vegetales nativas y la marcada ruptura entre la población y los recursos naturales que le ofrecía la naturaleza.

Por último, es importante tener en cuenta la evolución que tuvieron los humedales durante el siglo XIX, en especial a finales de este; es posible evidenciar el origen de varios factores que fueron los puntos clave en la destrucción y fragmentación de los humedales de Bogotá en años posteriores, no solo a raíz de las visiones coloniales, sino también en los aspectos judiciales, de violencia y marginalidad social que se presentaban en todo el país durante este periodo, de tal forma que puede ser un punto de partida para comprender la transformación de estos ecosistemas, así como la búsqueda de nuevas soluciones, tales como la construcción de ecosistemas artificiales.

CAPITULO 5: Los Humedales de Bogotá en el Siglo XX

Los humedales y en general los ecosistemas naturales de Bogotá en el siglo XX, fueron sometidos a una gran cantidad de factores tensionantes, producto de los problemas políticos, sociales y económicos que estaba afrontando el país desde la mitad del siglo XIX y que fueron descritos en el capítulo anterior. Estas dinámicas sumadas a las nuevas tecnologías e industrias que estaban surgiendo desde finales del siglo XIX, determinaron en gran parte el crecimiento de la ciudad, cambiando de manera radical los espacios naturales y por ende el funcionamiento y existencia de los humedales en Bogotá.

5.1. Historia

El siglo XX en Colombia inicio con la guerra de los mil días en el periodo de 1899 y 1902, esta violencia trajo como consecuencia un desplazamiento masivo de personas de diferentes regiones del país hacia Bogotá, las cuales se establecieron principalmente en el centro y sur de la ciudad (Osorio, 2008). Este fenómeno sumado al aumento de la población local, genero que los problemas de salud pública que se venían presentando desde el siglo XIX, se dispararan a niveles críticos, dinámica que llevo a la ciudad a una situación cercana al colapso sanitario (EAAB, 1984).

Ahora bien, esta problemática de salud pública, sumada al déficit de viviendas y la partición de las herencias del hacendado y estanciero, ocasiono en gran medida la fragmentación de la hacienda criolla (Ruiz, 2008). Así mismo, en 1905, se encuentra un reconocimiento jurídico para los humedales, chucuas, pantanos, entre otros, mediante el Decreto 40 del 28 de febrero, el cual decreta el deslinde de los predios particulares que en los últimos 10 años habían estado inundados u ocupados por agua (Rojas, 2000).

Esta delimitación del territorio, dio paso a la formación de barrios, los cuales se irguieron sin mayor planeación y muchos de ellos irregulares por procesos de invasión, los cuales a su vez no poseían servicios públicos y se habían ubicado en las zonas de inundación de ríos, quebradas y en los humedales que surcaban las haciendas (DAMA, 2000).

Así pues, la expansión de la ciudad se rigió por dos visiones, la inclinación de la elite social que empezó asentarse sobre la zona norte de la ciudad y por otra parte, los inmigrantes y familias de escasos recursos económicos que se ubicaron en el sur (Palacio & Rouillón, 2008). Esta dinámica trajo como consecuencia tres aspectos muy importantes, la fuerte polarización social, un patrón altamente desordenado en la expansión de la ciudad y urbanizaciones vulnerables a las inundaciones, debido a que la mayoría de áreas en donde se asentaron los nuevos barrios, se habían construido sobre los humedales y para

la mayoría de personas, sin importar su clase social, estos espacios no eran importantes a pesar de que estos los proveían de alimento, agua y recreación (Santiago, 2012).

En respuesta a las situaciones mencionadas anteriormente y con el agravante de una catástrofe sanitaria latente, en 1910 se crea la Dirección de Higiene y Salubridad, la cual en su primer estudio sobre el estado de los ríos que se abastecía la ciudad, determinó la urgencia de la cloración de las aguas, medida que hizo descender las muertes por fiebre tifoidea en un 90% (Osorio, 2007).

Esta iniciativa mejoro la calidad del agua, sin embargo la cobertura y demanda que requería la población que crecía exponencialmente, era mucho mayor a la que otorgaban sus ríos, además, sequías como la del año 1914, redujeron considerablemente el nivel de ríos, lagos y humedales, lo que prendió aún más las alarmas en el abastecimiento de agua para la población (DAMA, 2000)

A raíz de esta situación, se creó un nuevo acueducto con la construcción de la primera planta de tratamiento del país llamada Vitelma, ubicada en los cerros orientales del sur de la ciudad y el embalse de la Regadera, obras que empezaron su funcionamiento en 1938 y permitieron una mejora sin precedentes en el servicio de agua potable para la ciudad (Osorio, 2008). Sin embargo, con la mejora en la cobertura de este servicio, los procesos de urbanización se dispararon, apareciendo nuevos barrios en los sectores de Chapinero, Puente Aranda, 20 de Julio, lo que a su vez acelero el deterioro ecológico de los humedales que allí se encontraban (Iriarte, 1988).

A pesar que la construcción del nuevo acueducto fue una obra sin precedentes en la ingeniería colombiana, los cálculos del volumen que proporcionaría el rio Tunjuelo, no fueron los adecuados, por lo tanto, esta obra fue fuertemente criticada entre 1939 y 1941, debido a la fuerte sequía de 29 meses que azoto a la ciudad e hizo colapsar el sistema Vitelma-La Regadera, ocasionando un razonamiento en varias partes de la ciudad (Osorio, 2007).

Esta situación provoco que a finales de la década de los 40, la administración municipal construyera el embalse de Chizacá, cuyo objetivo era captar un mayor volumen del rio Tunjuelo, así como el abastecimiento del rio Bogotá con la planta de tratamiento Tibitó en Tocancipá (DAMA, 2000; Osorio, 2007; EAAB, 1984). Es importante recalcar que antes de 1940, los humedales tenían periodos de estiaje de 2 a 3 meses en el año pero una vez puestas en marcha estas obras de ingeniería, los periodos de desecación en los humedales eran de más de un año, causando fuertes daños ecológicos y la falsa impresión de ser zonas aptas para la urbanización (Camargo, 2003).

Por otra parte, desde la segunda década del siglo XX, los vehículos de tracción animal y el transporte ferroviario, le daban paso a los vehículos mecánicos con el desarrollo progresivo de la malla vial capitalina (Sanclemente & Palacio, 2008).

En la década de los años 30, se construyó la Avenida de las Américas, obra que afectó al gran lago de Tintal, fraccionándolo en los actuales humedales de Tibanica, La Vaca, El burro y El lago Timiza (DAMA, 2000). Así mismo, en 1954, la construcción de la Autopista Norte dividió otro gran lago que poseía la ciudad, dando origen a los actuales humedales de Guaymaral y Torca (Santiago, 2012).

De igual forma en 1958 la construcción del aeropuerto y la Avenida El Dorado, fragmentaron la gran laguna que se extendía desde el aeropuerto hasta el sector de Hayuelos, fragmentándola en los actuales humedales de Jaboque y capellanía (Hernández & Rangel, 2009).

Las dinámicas de expansión vial mencionadas, son algunos ejemplos de cómo la ciudad determinó la dirección del poblamiento del territorio, jalonando los procesos de urbanización hacia el occidente, sur-occidente, noroccidente y el norte de la ciudad, lugares que históricamente habían sido ocupados por los grandes lagos y humedales que hasta la mitad del siglo XX, la sociedad bogotana pudo disfrutar.

Es importante subrayar que el crecimiento y desarrollo de la ciudad durante todo el siglo XX, se basó en la idea de que al urbanizar los terrenos pantanosos y aumentar la cobertura de las autopistas, tanto al interior de la capital como en el exterior con los municipios vecinos, era la idea de progreso y éxito económico, sin tomar en cuenta los impactos a los que los humedales eran expuestos y las consecuencias de estos en el futuro.

5.2. Aspectos biofísicos

La fauna nativa del siglo XIX, estuvo presente aproximadamente hasta la mitad del siglo XX, presentando poblaciones saludables y abundantes que se desplazaban por los humedales de Bogotá tal y como lo describe Ruiz (2008), se recomienda al lector revisar el capítulo cuatro en donde se sintetizan los animales más representativos de estos ecosistemas.

Es importante resaltar que algunos animales de la primera mitad del siglo XX, ya no hacen parte del inventario ecológico de los humedales capitalinos en la actualidad, como por ejemplo el venado cola blanca que hasta la década de los años 30, había sido registrado en los humedales de la ciudad, sin embargo, la caza excesiva, la deforestación del bosque nativo y la fragmentación de los humedales, provocaron la migración de estos animales, tanto en los humedales de Bogotá como en gran parte de su sabana (Calvachi, 2003; L. Estupiñan, comunicación personal, 9 de agosto de 2016).

Los borugos, comadrejas y las bandadas de patos migratorios y locales eran comunes en el paisaje de los humedales capitalinos hasta mediado del siglo XX pero desde mediados del siglo XIX se habían convertido en la caza preferida de los hacendados, estancieros y la elite política, los cuales veían en la muerte

masiva de estos animales, un deporte que les brindaba un estatus social superior en la sociedad bogotana (Ruiz, 2008).

En cuanto a los cangrejos, guapuchas y el capital de la Sabana, fueron afectados por la fragmentación, desecación y contaminación de los ríos, quebradas y humedales, producto del acelerado y desordenado crecimiento de la ciudad, así como la pesca excesiva en los remanentes de humedales que aun existían en la segunda mitad del siglo XX (Márquez, 2003). Estas dinámicas ocasionaron que después de los años 70, la mayoría de mamíferos, peces y aves, en especial los patos, desaparecieran de los humedales de Bogotá, evidenciando los cambios tan dramáticos y que desafortunadamente en muchos casos, han sido irreversibles para sostener las poblaciones de estos animales.

La vegetación nativa tuvo un proceso similar al de los animales de los humedales, es decir, a principios del siglo XX, la conformación espacial de las especies vegetales descritas en el capítulo 4, se mantuvieron hasta las primeras décadas del siglo XX, sin embargo, la ruptura de la hacienda, la desecación de los humedales, la desordenada urbanización, la introducción de especies exóticas, la deforestación de los cerros (figura 7), de los bosques de ribera y la contaminación de los cuerpos de agua, fueron los factores determinantes que produjeron la desaparición de la mayoría de especies endémicas de los humedales de Bogotá (Palacio & Rouillón, 2008).

Estas nuevas condiciones favorecieron el establecimiento de las especies foráneas como el eucalipto, sauce, ciprés (*Cupressus* sp.), acacia (*Acacia* sp.), pino (*Pinus* sp.) y los pastos de forrajes para el ganado como el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), los cuales empezaron a moldear el nuevo mosaico vegetal de los humedales, así como los bosques de ribera, bosques de planicie y los cerros orientales de la ciudad.



Figura 7: Plaza mayor de Bogotá en los años 20, al fondo se nota la erosión y despojo de la vegetación de los cerros orientales. Tomado textualmente de Osorio (2008).

Por último y no menos importante, la contaminación del recurso hídrico generado por las aguas servidas que se venía presentando desde la colonia, ahora se sumaba los desechos tóxicos de las industrias, principalmente curtiembres, ladrilleras y cerveceras (Osorio, 2008).

Así mismo, los procesos de urbanización mencionados anteriormente, produjeron un resultado nefasto para la existencia de los humedales, ya que desde la segunda década del siglo XX, los desechos de construcción fueron usados para rellenar los cuerpos de agua de la capital, el levantamiento de nuevos jarillones, la desviación del cauce natural de los ríos y quebradas, lo cual ocasiono que las funciones ecológicas de recarga y descarga de agua para los humedales, fuera limitado y en el mejor de los casos con una carga contaminante desmedida que los humedales progresivamente no pudieron regular (Cristancho & Leon, 2008)

5.3. Sociedad y Humedales

A partir del siglo XX, el gobierno de la ciudad se dedicó a imitar las condiciones ecológicas y de desarrollo de algunas ciudades europeas, excluyendo gran parte de los modelos españoles que habían imperado hasta finales del siglo XIX; esta dinámica ha sido llamada la Europeización de la Sabana y fue un proceso que marco diferentes años del siglo XX y se dio en gran parte a las características climáticas de la sabana, las cuales eran similares a las zonas templadas de los ecosistemas del hemisferio norte (Ruiz, 2008).

Esta situación provoco una visión bastante colonial por parte de un sector de la ciudad hacia los habitantes de las regiones cálidas, ya que consideraban que la evolución histórica de estos pueblos era inferior a la capacidad económica, cultural y tecnológica de Bogotá (Palacio, 2006).

Las características del proceso de “Europeización” de la sabana, considero que se destaca por cuatro aspectos fundamentales, por un lado la transformación ecológica de los humedales con la introducción de las especies vegetales exóticas nombradas anteriormente desde el siglo XIX hasta los años 90 del siglo XX, la segunda fue aumentar el área para el pastoreo de vacas, ovejas, cabras y gallinas en las zonas de humedales, práctica que se había consolidado desde la colonia pero que en la segunda mitad del siglo XX hasta finales de este, marcó el desarrollo agropecuario en los humedales capitalinos (Bernal, 2008 & Van der Hammen, 2003).

La tercera tuvo que ver con el inicio de la agricultura extensiva a base de vehículos mecánicos como se venía realizando en los países del norte, la cual se vio permeada por la mal llamada revolución verde, debido a que fue la entrada de los pesticidas que desde los años 60, se dispersaron mundialmente como una práctica para la fertilidad de los suelos y una mayor rentabilidad de los cultivos, sin tener en cuenta los impactos ambientales que conlleva su uso; por

último, el desarrollo industrial que tuvo la ciudad, el cual fue un punto clave para la transformación de la vida rural que aún existía en la mitad del siglo XX al de una ciudad con abundantes industrias que se llevó cabo hasta finales del siglo (Andrade, 2003).

Las industrias se consolidaron como eje fundamental para el desarrollo de la ciudad, acentuando la visión de los humedales como espacios insalubres e improductivos; industrias que contribuyeron a la descarga de químicos como el cobre, mercurio y otros elementos al río Bogotá desde unos pocos kilómetros de su nacimiento hasta su encuentro con el río Magdalena (Guío & Palacio, 2008).

De igual forma, el sector industrial aumento la vulnerabilidad de estos ecosistemas, fragmentando los humedales por obras viales, relleno de manera legal e ilegal los remanentes de estos ecosistemas y destararon la sobrepoblación de animales oportunistas como las ratas, gatos y perros ferales (Van der Hammen, 2003).

En síntesis, el desplazamiento de la población del campo a la ciudad por la violencia política, la ampliación en la cobertura del acueducto y la evolución que tuvo la infraestructura vial de la ciudad, favorecieron un crecimiento demográfico acelerado, igualmente, estos factores contribuyeron a que los procesos de contaminación y deforestación de las cuencas de los ríos que abastecían a Bogotá, generaran fuertes problemas sanitarios, que a su vez se vio permeada por la expansión acelerada y desordenada de la ciudad, cuya visión de desarrollo ecológico estaban influenciadas por la introducción de especies vegetales y animales exóticas, las cuales contribuyeron a la desaparición y migración de especies de flora y fauna nativa de los humedales.

Así mismo, la urbanización acelerada, la ampliación de la malla vial, el desarrollo industrial, la agricultura con agroquímicos y la visión imperante de los humedales como ecosistemas no productivos, considero que son los aspectos que más se destacan en la fragmentación, desecación y desaparición de los humedales de Bogotá en la segunda mitad del siglo XX, lo que ha llevado a la alarmante cifra de poseer aproximadamente 50.000 ha de humedales a principios del siglo XX a las 725 ha que han sido reconocidas legalmente en la actualidad (tabla 1) (Renjifo, 1992 & SDA, 2016):

Ahora bien, la evolución que han tenido los humedales en el siglo XX y en general a lo largo de su historia, muestran varios aspectos a tener en cuenta, en el momento de crear propuestas para la recuperación, rehabilitación y restauración de estos ecosistemas, principalmente en los aspectos ecológicos a los que han sido sometidos, ya que, la estrategia en la que se centra este documento, es en la construcción de humedales que recrean las funciones ecosistémicas que más han perdido los humedales naturales de Bogotá, es decir, la conectividad con los ríos, quebradas, lagos o remanentes de humedal, mejorar las conexiones hídricas erradas, mejorar la calidad de agua y nutrientes que ingresan, expandir la cobertura vegetal, como zonas de paso (*stepping Stone*) para algunos

animales, mejorar la oferta de alimento, favorecer coa ayudar a la dispersión de la vegetación y por ultimo sensibilizar a los actores estatales, privados y a la sociedad en general, en la importancia de proteger y recuperar estos ecosistemas para el suministro de bienes y servicios que estos ecosistemas nos brindan.

Humedal	Área (ha)	Cuenca	Localidad
Tibanica	28,8	Tunjuelo	Bosa (7)
La Vaca	7,98	Fucha	Kennedy (8)
El Burro	18,84	Fucha	Kennedy (8)
Techo	11,67	Fucha	Kennedy (8)
Capellanía	27	Fucha	Kennedy (8)
Meandro del Say	26	Fucha	Fontibón (9)
Santa María del Lago	10,86	Salitre	Fontibón (9)
Córdoba	40,51	Salitre	Engativá (10)
Jaboque	148	Jaboque	Suba (11)
Juan Amarillo	222,76	Salitre	Suba (11) y Engativá (10)
La Conejera	58,89	Conejera	Suba (11)
Torca-Guaymaral	79,93	Torca	Usaquén (1) y Suba (11)
El Salitre	2,8	Salitre	Barrios Unidos (12)
Tunjo	33,2	Tunjuelo	Tunjuelito (6) y Ciudad Bolívar (19)
La Isla	7,77	Tunjuelo	Bosa (7)
TOTAL	725,01		

Tabla 1: los 15 Humedales de Bogotá D.C. discriminados por área, cuenca y a la localidad que pertenecen.

CAPITULO 6: Protección de los Humedales en el Siglo XX

Los antecedentes históricos a los que fueron sometidos los humedales y que se han descrito en los capítulos anteriores, marcaron la pauta para la elaboración de un marco normativo, encaminado a prevenir, mitigar, corregir y compensar los trágicos cambios que sufrieron estos ecosistemas.

De manera que si bien es cierto que en el siglo XX, no solo a nivel nacional sino internacional, fue el periodo en el cual los humedales, pantanos y ciénagas de todo el mundo, sufrieron los cambios más drásticos que provocaron la desaparición de casi el 50% de estos (Andrade, 2003); también, es importante resaltar que fue el periodo en el que los estados, a través de sus instituciones, así como la población en general, crearon nuevos comportamientos en su relación con los recursos naturales que los rodeaba, por tal motivo, en este capítulo se describen las decisiones más relevantes, a nivel internacional, nacional y regional, que han permitido la evolución de la legislación ambiental en el manejo y protección de los Humedales

6.1. Gestión Ambiental en el Mundo

La disminución en la oferta que brindaban los ecosistemas naturales a nivel mundial, dio origen a un fuerte cuestionamiento por parte de la población y organizaciones no gubernamentales, acerca de la visión económica que imperaba en los estados, la cual se basaba en un crecimiento sin límites para las actividades económicas, sin tomar en cuenta el deterioro que sufrían los recursos otorgados por la naturaleza, (Sánchez, 2002).

Estas dinámicas provocaron el surgimiento de un movimiento ambiental mundial, el cual tuvo su primer avance en la gestión de los humedales con la firma de la Convención RAMSAR en 1971, la cual tuvo su aprobación en la conferencia de Naciones Unidas celebrada en Estocolmo del año 1972, en donde diferentes países de todos los continentes, establecieron unos objetivos para la protección inicial de 103 millones de hectáreas, correspondientes a 1180 humedales de importancia internacional (Andrade, 2003).

A su vez, la Cumbre de Estocolmo, impulsó las agendas para que los países participantes, establecieran el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la promulgación de la Declaración Internacional sobre un medio ambiente sano, el cual lo cataloga como un derecho colectivo que las generaciones presentes y futuras deben disfrutar (Barrera *et al.*, 2010).

Por último, en 1992, es importante resaltar los avances que se obtuvieron en la *Cumbre de la Tierra* celebrada en Brasil, ya que de allí se expidió la Agenda 21, en la cual se establecieron el Convenio de Diversidad Biológica, Convenio marco

sobre Cambio Climático y la Declaración de los principios sobre ordenación, conservación y desarrollo de los bosques, con el fin de alcanzar el desarrollo sostenible y una mejor calidad de Vida para las personas (ONU, 1992).

6.2. Gestión Ambiental en Colombia

El desarrollo histórico de la gestión ambiental en Colombia inicia en la segunda mitad del siglo XX, con la creación del extinto Instituto Nacional de Recursos Naturales (INDERENA) en el año 1957, el cual asumió la responsabilidad de darle un manejo racional a los recursos naturales que poseía la nación en contravía de la visión netamente productiva y extractiva que reinaba en ese momento (Rodríguez, 1994). Así mismo, fue la entidad que sentó las bases para ir construyendo la conciencia ambiental del país, teniendo una gran repercusión en las normas, códigos, programas y campañas que años más tarde, regirían las dinámicas productivas y de conservación de los ecosistemas colombianos.

Colombia continuó avanzando en su legislación ambiental, teniendo como guía las directrices que se habían establecido en Estocolmo, de manera que en 1974, se expide el (Decreto 2811, 1974), mediante el cual se dictan los lineamientos del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, enfatizando en la declaración internacional sobre el medio ambiente, como un derecho humano de tercera generación; sin embargo, es en la década de los 90 que la Nación da un gran avance en materia de política con la *Constitución Política de Colombia* de 1991, la cual consagra los Derechos Colectivos y Ambientales, el desarrollo sostenible como referente para el crecimiento del país, autoriza las competencias ambientales a las entidades territoriales y parte de los recursos del Fondo Nacional de Regalías, así como un porcentaje del recaudo por el impuesto predial, son destinados para la gestión ambiental de la Nación (Sánchez, 2002).

Posteriormente, en 1993, la Política Ambiental de Colombia, mediante la (Ley 99, 1993), en la cual, todos los avances mencionados en los convenios de años atrás, se consagran y resaltan, entre otros, las zonas de Páramo, Subpáramo, nacimientos y zonas de recarga de acuíferos como ecosistemas de protección especial, categoría en la cual, entran los humedales. También, se crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA), como un conjunto de entidades públicas interrelacionadas, las cuales se encargaran del manejo ambiental del país y definen los mecanismos de actuación tanto del Estado como de la Sociedad Civil sobre el ambiente (Barrera *et al.*, 2010).

Otra decisión jurídica que impacta positivamente a los humedales, es el (Decreto 1729, 2002), el cual crea los Planes de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas Hidrográficas (POMCAs), resaltando las zonas de recarga y descarga hídrica como áreas de especial interés ecológico para la conservación, preservación y recuperación de los recursos renovables.

En el mismo año, el Ministerio del Medio Ambiente, creado a partir de la (Ley 99, 1993) y que remplazo al INDERENA, promulga la Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia, la cual tiene como eje articulador el agua, generando los objetivos y acciones encaminadas a promover el uso sostenible, la conservación y la recuperación de los humedales del país en los ámbitos nacional, regional y local, así mismo, los parámetros fisicoquímicos de los vertimientos a nivel nacional, se deben basar en lo que dicta la (Res. 631, 2015), en la cual se describe de manera cuantitativa los límites permisibles que debe llevar los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público (MADS, 2015 & MADS, 2002).

6.3. Gestión Ambiental en el Distrito Capital

Los aspectos jurídicos de Bogotá D.C., han evolucionado paralelamente a la normatividad del país, dando un primer paso con la declaratoria de los Cerros Orientales de Bogotá bajo la figura de Reserva Forestal Protectora (Res. 076, 1977). Esto se dio en gran medida por la deforestación y degradación a la que fueron sometidos desde la colonia y que fue descrita en el capítulo anterior.

A inicios de los años 90, el Concejo Distrital determinó la necesidad de crear un Plan de Gestión Ambiental, por lo cual se constituyó el Departamento Administrativo de Medio Ambiente (DAMA), como organismo técnico y científico, el cual asumió, en los siguientes años, las funciones de autoridad ambiental urbana y rural (Barrera et al., 2010).

Por otra parte, en 1996, a través del Acuerdo 19, se crea el Sistema Ambiental del Distrito Capital (SIAC), con el fin de definir una serie de normas, programas, recursos e instituciones que manejaran la gestión ambiental en la ciudad y que una de sus principales funciones es conservar y preservar las cualidades de los ecosistemas urbanos y rurales de Bogotá.

Posteriormente, mediante el (Decreto 619, 2000), se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), el cual es compilado por el (Decreto 190, 2004), definiendo la Estructura Ecológica Principal (figura 8), en la cual se reconocen los humedales, como parte fundamental de esta estructura y la define como la red de espacios y corredores que permitirán asegurar la preservación y restauración de la biodiversidad a los diferentes niveles ecológicos, garantizando el mantenimiento de los ecosistemas, la conectividad ecológica y la disponibilidad de servicios ambientales en el territorio (SDA, 2008).

En el año 2006, ocurren grandes cambios en la gestión ambiental de Bogotá. Por una parte, el gobierno distrital, mediante el (Decreto 122, 2006), elabora un documento, en el cual se declara a los Cerros Orientales como patrimonio cultural y natural de la ciudad, estableciendo las medidas para su defensa y protección. Continuamente, la Alcaldía Mayor de la ciudad transforma el DAMA en la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), la cual cuenta con autonomía

administrativa, financiera y a la cual se encuentra adscrito el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis como institución científica en los proyectos de la ciudad (SDA, 2008)

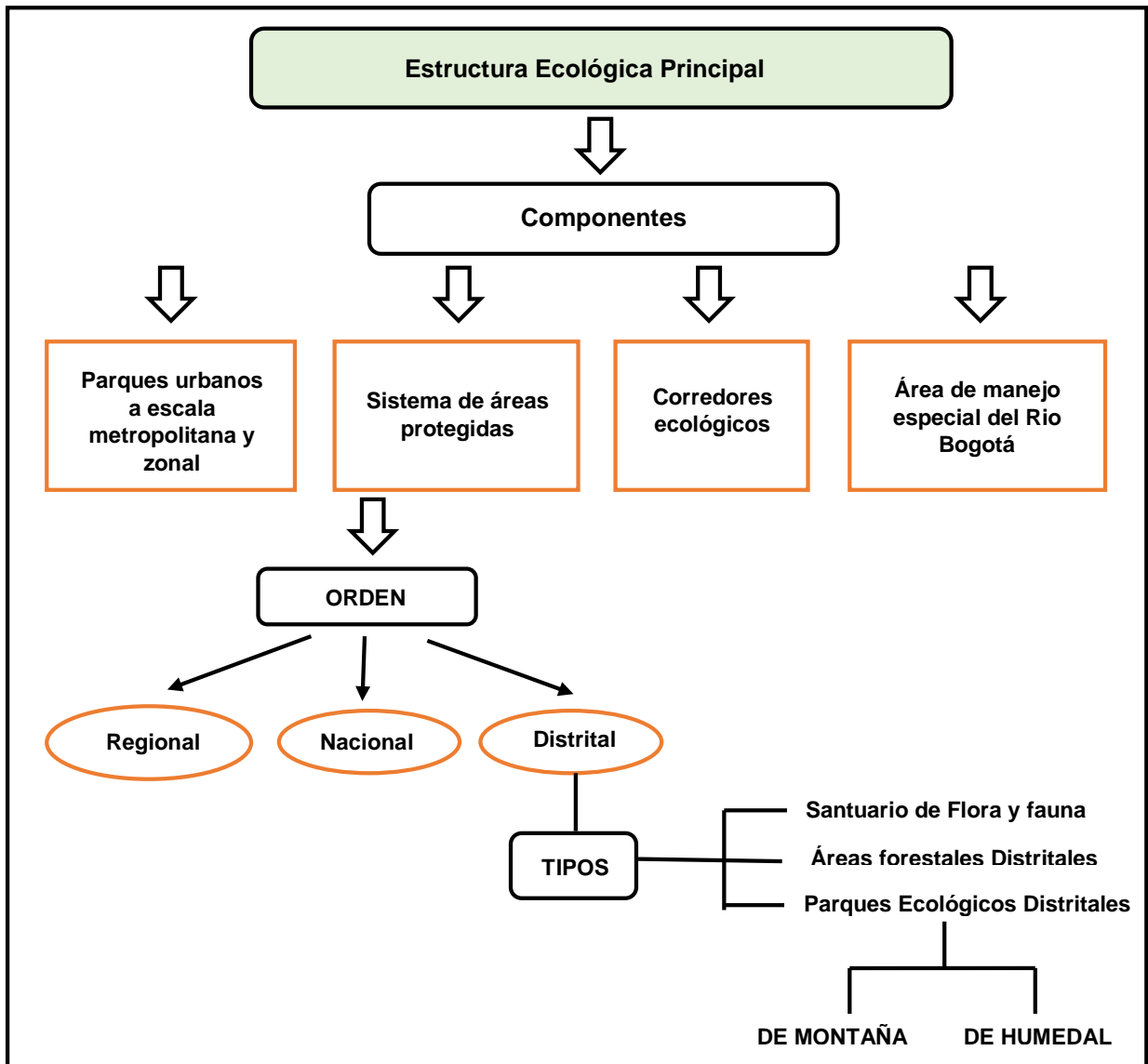


Figura 8: Estructura Ecológica Principal de Bogotá D.C. Adaptado de Barrera *et al.* (2010).

Luego, la Alcaldía de Bogotá, formula la Política de Humedales del Distrito Capital, la cual, mediante el (Decreto 624, 2007), define las pautas para la conservación, recuperación, rehabilitación y restauración de estos ecosistemas, reconociendo que estos espacios ofrecen gran variedad de bienes y servicios ambientales, los cuales son imprescindibles para el desarrollo sostenible de la ciudad y la región.

Adicionalmente, el Gobierno de la Ciudad, mediante el Acuerdo 305 del 2008, adopta el Plan de Gestión Ambiental, el cual reconoce la heterogeneidad de los procesos de desarrollo regional y local, los diferentes actores y sus interacciones

con el territorio, con el fin de realizar la planificación ambiental más óptima para Bogotá (Barrera et al., 2010).

Por último, con el fin de contrarrestar los efectos negativos que ha ocasionado el control de los vertimientos por actividades productivas y residenciales, el gobierno de la ciudad emite la (Res. 3957, 2009), en la cual se dictan todas las disposiciones para el control y manejo que deben estar sujetas a los vertimientos y determina los límites que deben llevar los parámetros físicos y químicos del vertimiento que va ser descargado en el alcantarillado o en los cuerpos superficiales de la ciudad.

Ahora bien, la propuesta en la que se centra este documento, se basa en la construcción de humedales para recuperar funciones ecológicas de los humedales naturales, en consecuencia, el humedal artificial que se va a operar, genera en su proceso final de depuración un efluente. Por lo tanto, este caudal final debe estar sujeto a los límites de los parámetros físicos y químicos, de manera que pueda ser descargado a la red de alcantarillado o a cuerpos de agua superficiales bajo las directrices legales que la norma exige (Res. 3957, 2009).

En síntesis, la evolución histórica de la normatividad ambiental en el Distrito Capital, es el resultado de un largo proceso a nivel nacional e internacional, en el cual se debe destacar el compromiso de las organizaciones no gubernamentales, comunitarias, ancestrales y la propia comunidad científica, como motor de cambio para que los organismos estatales hayan tomado las iniciativas de estos movimientos y asumieran la responsabilidad jurídica en pro del reconocimiento de los humedales como ecosistemas de vital importancia para el crecimiento de la ciudad.

Así mismo, los avances en materia de legislación a lo largo del siglo XX, han permitido que las estrategias de recuperación, como en la que se centra este documento, se realicen mediante un proceso técnico, científico y con las rutas legales específicas, enfatizando en las ganancias ecológicas, sociales y económicas que tendría la adecuada implementación de los humedales construidos para Bogotá.

No obstante, es importante recalcar que a pesar de todas las rutas legales que se han descrito en este capítulo, el estado de los humedales de Bogotá presenta un alto grado de degradación, debido en gran parte a que las políticas ambientales no han sido ejecutadas de manera correcta y ha prevalecido el desarrollo vial, urbanístico, industrial y agropecuario sobre la conservación de estos ecosistemas, sin embargo, los instrumentos jurídicos que se han desarrollado, han permitido que la población y las organizaciones no gubernamentales puedan apropiarse, defender y aumentar el área de los humedales que aún existen en la ciudad.

CAPITULO 7: Los Humedales Construidos (WC)

Los siguientes capítulos describirán la información técnica sobre los componentes, la implementación, el funcionamiento y el mantenimiento de los tipos de humedales construidos, haciendo énfasis en los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se hayan implementado en el mundo, de manera que se pueda contrastar la información teórica sobre estos sistemas con la situación ecológica de los humedales de Bogotá, así como las ventajas o posibilidades de recuperación que brinden a los humedales capitalinos.

7.1. Historia de los Humedales Construidos

En los capítulos anteriores, se han descrito los factores que a lo largo de la historia de Bogotá D.C. han afectado el funcionamiento ecológico de los humedales y la desaparición acelerada a la que estuvieron expuestos desde el periodo colonial hasta la actualidad, haciendo hincapié sobre los procesos urbanísticos, industriales y agrícolas de los últimos 100 años que estructuraron y moldearon al distrito capital. Ahora bien, las estrategias jurídicas que se mencionaron anteriormente, estuvieron acompañadas en la generación de información científica y técnica para contribuir a los efectos adversos que las actividades antrópicas han generado sobre estos ecosistemas naturales.

Una de estas estrategias fue la creación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, cuyo componente principal y purificador de las sustancias contaminantes, eran especies de macrófitas que se encuentran en los humedales naturales, de esta manera, en 1950, se dieron los primeros pasos con la investigación científica y sistemática sobre las plantas que podían ser usadas en el tratamiento de aguas residuales con los trabajos de Seidel (1953 y 1955).

En un principio, estos avances no fueron tomados en cuenta y se siguieron fomentando los sistemas de depuración, a partir de las plantas de tratamiento convencionales, sin embargo, la información técnica sobre las plantas de humedales confinadas en un espacio, marcaron las bases para la investigación de estos tipos de sistemas, de allí que entre 1950 y 1970, científicos europeos y norteamericanos, continuaran trabajando con macrófitas de humedales, incorporándolas en el tratamiento de aguas residuales de varias actividades antrópicas, llamando a estos primeros sistemas, los métodos hidrobotánicos para el tratamiento de aguas residuales (Vymazal, 2008).

Posteriormente, en los estudios de los sistemas de tratamiento hidrobotánicos, se añadieron suelos de material granular, los cuales generaban una buena conducción del afluente y permitían la filtración de los lodos, también, empezaron a crear sistemas en donde las aguas residuales pasaban a través de flujos

verticales, horizontales o de las dos formas pero en diferentes etapas, dando paso a los diferentes tipos de humedales construidos, los cuales se caracterizaban según el flujo del afluente, las macrófitas usadas y la pendiente del sistema (Vymazal *et al.*,1998).

A partir de toda la información técnica, algunas ciudades de Europa y Norteamérica, empezaron a construir humedales en los años 60 y 70 para el tratamiento de aguas residuales de ciudades pequeñas, fincas agropecuarias, industrias de petróleo y otros productos químicos, así como el tratamiento de aguas lluvias y la adaptación a ecosistemas naturales para mejorar el estado ecológico de estos (Kadlec & Wallace, 2009).

7.2. Ventajas Ambientales y Económicas

El funcionamiento hídrico de un humedal natural consiste en capturar y expulsar las aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y una duración acorde a las condiciones climáticas del lugar, con el fin de mantener condiciones saturadas que fomentaran el crecimiento de plantas acuáticas, cuyas estructuras biológicas, así como bacterias y microorganismos, actúan como elementos filtradores que regulan el flujo de nutrientes al interior del humedal y son liberados a los ecosistemas adyacentes (SDA, 2008).

Estas dinámicas ecológicas, generaron un atractivo en el estudio de humedales construidos que emularan estas funciones y fueran empleados principalmente para el tratamiento de aguas residuales por las siguientes razones (Arias & Brix, 2003):

- Bajos costos de inversión, operación y mantenimiento.
- No requieren personal altamente capacitado.
- El consumo de energía es mínimo o nulo.
- Fijan los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- No generan lodos de activación.
- Utilizan y transforman los contaminantes mediante procesos biológicos entre microorganismos.

La creación de estos sistemas “naturales” de tratamiento, como también han sido llamados, fueron incorporados en la recuperación de lagos y humedales naturales, en respuesta a la pérdida y contaminación de estos ecosistemas en todo el mundo, de manera que proyectos como los de Holanda en 1967 y Hungría en 1968, son algunos ejemplos de la implementación de los humedales construidos para mejorar los aspectos ecológicos de un lugar (Vymazal, 2008; EPA 2000; Kadlec & Wallace, 2009). Estos autores también mencionan las ventajas ambientales que pueden ofrecer, entre ellas:

- Crean nichos ecológicos.
- Mejoran la calidad de agua.

- Crean zonas de amortiguamiento para las inundaciones.
- Conectividad ecológica con sus ecosistemas adyacentes.
- Mejoran la oferta de alimento para los animales.
- Contribuyen a mejorar el paisaje.
- Se pueden usar como aulas de educación ambiental.

7.3. Procesos de depuración en los humedales construidos

Las ventajas ambientales y económicas de los humedales construidos, han hecho que estos sistemas se constituyan en una tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales de varias actividades antrópicas, así mismo, es importante aclarar que los componentes de los tipos de humedales construidos (figura 9) pueden variar según el proceso biológico que van a realizar y su diseño, pero independientemente de su clasificación, son ecosistemas, en donde se presentan procesos de reproducción y descomposición de la biota, proceso que produce residuos que pueden medirse en función de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), nitrógeno, fosforo y coliformes fecales (EPA, 2000).

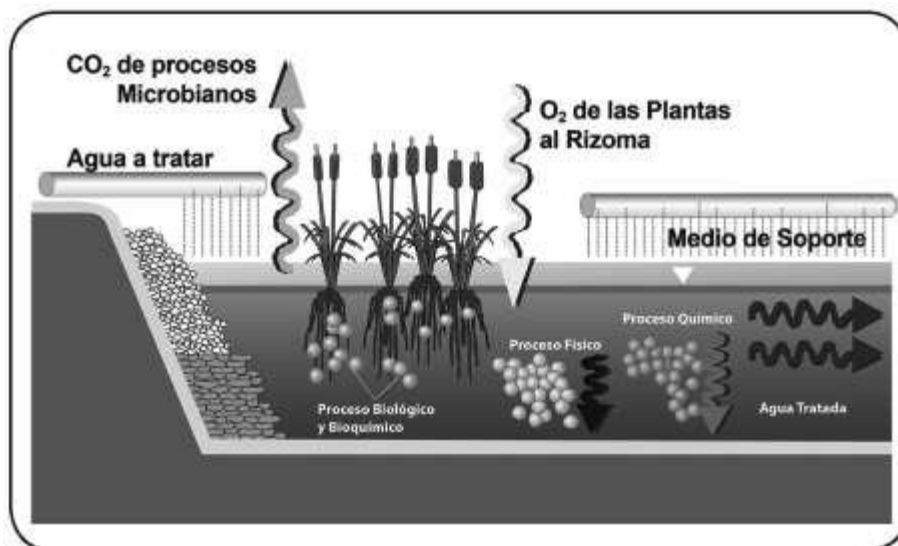


Figura 9: Componentes básicos y procesos de depuración en un humedal construido. Tomado textualmente de: Luna & Castañeda (2014).

La medición de estas variables fisicoquímicas y biológicas, se tiene en cuenta para realizar el monitoreo del sistema, de manera que se pueda determinar si los procesos biológicos de depuración están funcionando correctamente y la estructura general que va a soportar las dinámicas biológicas de estos humedales tiene los siguientes componentes básicos para su funcionamiento (Montiel, 2014):

- Afluente o estructura de entrada.

- Estanque o pozo.
- Lamina de aislamiento.
- Material granular.
- Macrófitas.
- Microorganismos.
- Efluente o estructura de salida.

La unión de los componentes básicos de los humedales artificiales, son los encargados de depurar el agua o afluente que ingresa al sistema, eliminando una gran cantidad de materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno, fosforo, metales pesados y patógenos, a través de diferentes procesos biológicos (tabla 2) que según el tipo de humedal que se haya construido eliminara en menor o mayor cantidad las sustancias contaminantes que se dispondrán en el sistema (Vymazal, 2010).

Contaminante	Proceso
Materia Orgánica	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentación - Asimilación - Mineralización
Sólidos en Suspensión	<ul style="list-style-type: none"> - Floculación - Sedimentación - Filtración - Degradación
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> - Amonificación - Nitrificación - Desnitrificación
Fosforo	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorción - Sedimentación - Asimilación
Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> - Fijación al sedimento - Adsorción por las plantas
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentación - muerte gradual - Radiación UV - Predación

Tabla 2: Procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los humedales construidos. Adaptado de Lahora (2003).

7.4. Clasificación de los humedales construidos

El crecimiento técnico sobre los tipos de macrófitas acuáticas usadas en la implementación de estos humedales, ha generado una gran diversidad de clasificaciones sobre estos sistemas, de tal forma que algunos sistemas de tratamiento con macrófitas no corresponden propiamente a las características de un humedal artificial, por lo tanto, en el desarrollo de este documento, las características del material vegetal que predomine en el lecho del sistema, se basará en la clasificación propuesta por Vymazal *et al.* (1998, citado por Arias y Brax 2003), Vymazal (2008), Montiel (2014), Fernández (2010), entre otros, dando como resultado la siguiente información:

- **(WC) con macrófitas flotantes:** *Echicornia crassipes* (bora), *Lemna minor* (Lenteja de agua).
- **(WC) con macrófitas de hojas flotantes:** *Nymphaea alba* (rosa de venus), *Potamogeton gramineus* (espiga de agua).
- **(WC) con macrófitas sumergidas:** *Littorella uniflora*, *Potamogeton crispus* (rizos de agua).
- **(WC) con macrófitas emergentes:** *Typha latifolia* (espadañas), *Phragmites australis* (carrizos).

WC sigla en inglés que corresponde a *Wetland Constructed*, significa Humedal Construido.

Adicionalmente, los humedales construidos, se han subdivido en cuatro líneas de desarrollo tecnológico, las cuales son las tecnologías que más se han extendido a lo largo del mundo y en las que este documento se centra, así mismo, los componentes básicos nombrados anteriormente son los mismos en todos estos tipos sistemas pero su flujo hidrológico es diferente, dando como resultado los diferentes tipos de humedales construidos (Arias & Brix, 2003).

La diferencia de estas características físicas e hidrológicas, han permitido operar y clasificar a los humedales construidos de la siguiente forma:

Humedales de flujo libre superficial (**FWS**), (en inglés, *Free Water Surface wetlands*, humedales de flujo horizontal Subsuperficial, *Horizontal subsurface wetland* (**HSF**), humedales de flujo Vertical Subsuperficial, *Vertical subsurface wetland* (**VSF**) y los humedales que tienen flujos horizontales y verticales pero que operan en etapas diferentes llamados humedales híbridos (figura 10).

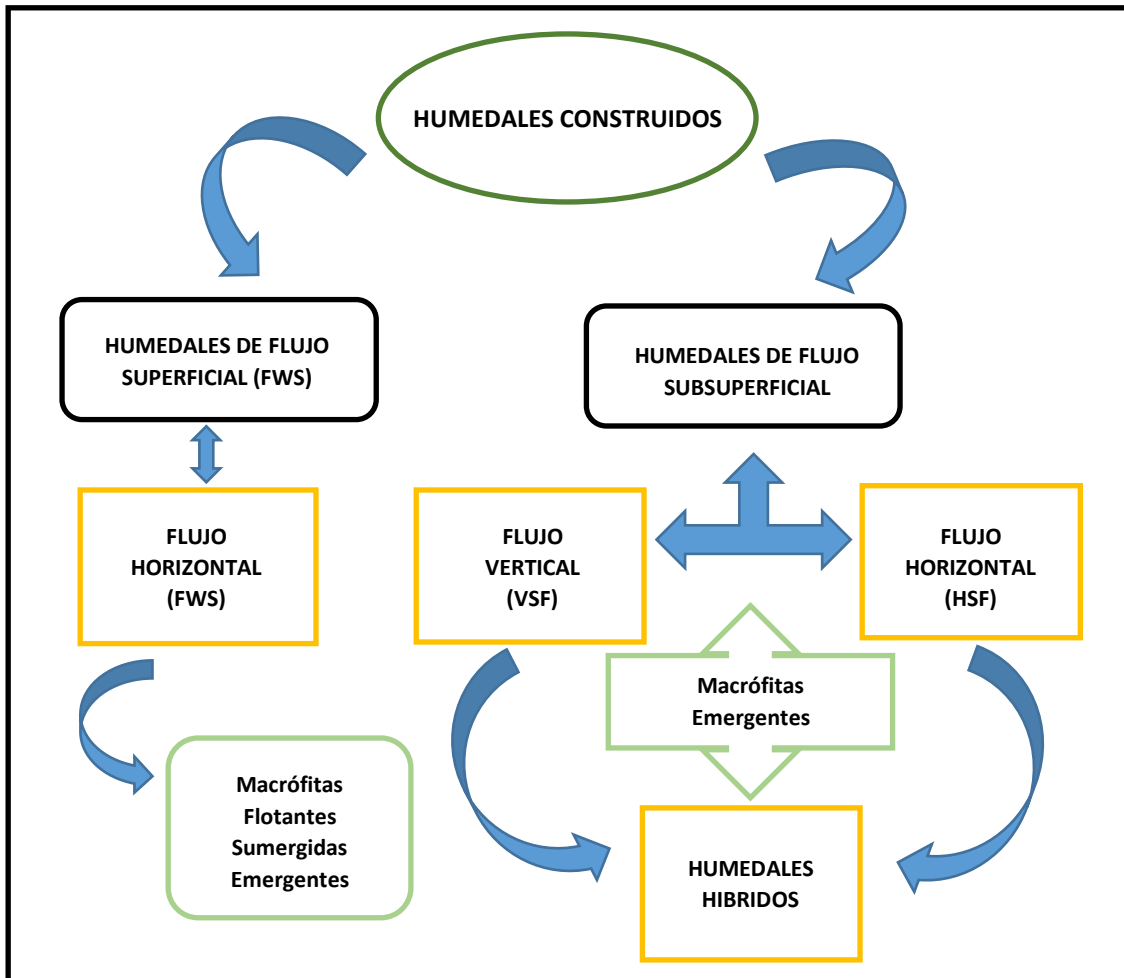


Figura 10: Clasificación de los humedales construidos.

7.5. Calidad del caudal

Los humedales construidos no han sido una estrategia muy usada para mitigar los impactos negativos que se han mencionado en capítulos anteriores sobre el recurso agua y los humedales naturales de Bogotá, sino que la experiencia en este tipo de sistemas, ha sido guiada hacia la reparación y adecuación hidráulica de los humedales capitalinos, sin embargo, el afluente que continua ingresando a la mayoría de estos ecosistemas, tiene una carga contaminante muy alta, generando el crecimiento excesivo de algunas plantas acuáticas como el buchón que no permiten el ingreso de la luz solar al espejo de agua, disminuyen la oferta oxígeno y la fauna al interior del sistema es limitada, provocando el desequilibrio ecológico del humedal (Márquez, 2003).

7.5.1. Origen del caudal

El sistema hídrico que opera actualmente en Bogotá, se basa en una serie de canales o mal llamados “caños”, los cuales están hechos de concreto y tienen la

función de recolectar y conducir las aguas residuales domésticas, industriales y pluviales, a través de colectores, interceptores y tuberías, algunas de las cuales operan aún en forma combinada en algunos tramos de la ciudad, finalmente, el caudal es distribuido a través de las 7 cuencas (*Torca – Conejera – Jaboque – Tintal – Fucha – Salitre – Guaymaral*) que conforman el sistema de la ciudad (Medellín & Gutiérrez, 2003).

En el plano ideal, este sistema, se diseñó con el fin de descargar las aguas pluviales directamente a las quebradas, ríos y humedales de la ciudad, y por otra parte, dirigir las aguas residuales domésticas e industriales a dos plantas de tratamiento convencional; sin embargo, se han generado dos conflictos principales en su funcionamiento que han impactado el estado ecológico de los humedales, por una parte al poseer estructuras de carácter combinado, la mayoría de los caudales que ingresan a los humedales no tienen ningún tipo de tratamiento y por otra, si bien la PTAR El Salitre ha incrementado el caudal que trata, este corresponde únicamente a la mayoría de los vertimientos que se generan en la zona norte de la ciudad (OAB, 2013).

7.5.2. Cantidad del caudal

Es de vital importancia conocer los caudales ($m^3/día$) y los parámetros fisicoquímicos del afluente, es decir, el pH, la conductividad eléctrica, la materia en suspensión, la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), concentración de nitrógeno y fósforo, ya que a partir de estos datos se va a diseñar las instalaciones del sistema (Kadlec & Wallace, 2009).

También, es fundamental que el afluente que va ingresar al humedal por lo menos haya pasado por una fase de pretratamiento, es decir, trampas de sólidos o un desarenador que obstaculizan materiales orgánicos e inorgánicos que no pueden ser degradados como el plástico, acero y troncos (García & Corzo 2008).

De esta manera, el caudal que va a ingresar al sistema puede ser depurado más efectivamente y una vez descargado, podría ser incorporado en los humedales de Bogotá, teniendo en cuenta los parámetros de calidad que exige la normatividad distrital, de tal forma que las condiciones ecológicas de estos ecosistemas podrían mejorar, tal y como ha ocurrido en los procesos de recuperación que se han realizado en algunos humedales de la ciudad (Lara & Baquero, 2013).

7.5.3. Regulación hídrica del caudal

En el caso de Bogotá, La Secretaría Distrital de Ambiente, emite la norma sobre el control y manejo de vertimientos en el Distrito Capital (Res. 3957 de 2009). A través de esta resolución, se mencionan los pasos que se deben seguir para

obtener un permiso de vertimientos y los valores máximos permitidos de los parámetros fisicoquímicos en los vertimientos realizados al alcantarillado (tabla 3).

Parámetro	Unidades	Valor
Color	Unidades Pt-C ₀	50 unidades en dilución 1/20
DBO5	mg/L	800
DQO	mg/L	1500
Grasas y aceites	mg/L	100
pH	1 - 14	5.9 – 9.0
Sólidos sedimentables	mg/L	2
Sólidos suspendidos totales	mg/L	600
Temperatura	°C	30
Tensoactivos (SAAM)	mg/L	10

Tabla 3: Valores de referencia para los vertimientos que se realicen en la red de alcantarillado de la ciudad de Bogotá. Adaptado de (Res. 3957 de 2009).

Por último, conocer los límites permisibles que debe llevar el efluente que va a generar el humedal construido, es de vital importancia para que la operación de estos sistemas funcione bajo las directrices que la norma exige, de manera que la implementación de estos humedales para recuperar funciones ecológicas de humedales naturales, no solo tenga en cuenta las ventajas ambientales y económicas que estos ofrecen, sino que sea una propuesta viable para integrarla desde un contexto legal a los proyectos que recuperación y rehabilitación.

7.6. Tratamientos previos

Los tipos de humedales construidos depuran cargas contaminantes diferentes; sin embargo es recomendable que el afluente que vaya a ingresar al sistema, por lo menos haya pasado por una fase de tratamiento previo, con el fin de que se logre eliminar o reducir la presencia de materiales que pueden bloquear o desgastar la tubería y canales, así mismo, estos materiales a lo largo de los años, colmatan e interrumpen los procesos biológicos, disminuyendo el potencial de depuración para el cual fue construido el humedal (Fernández, 2001).

Por lo general, los sistemas de humedales se han construido para tratamientos secundarios o terciarios, de manera que el afluente que va ser depurado por el humedal, inicialmente ha sido tratado por una fase de pretratamiento (figura 11), que consiste generalmente en un canal de desbaste, compuesto por una zona en donde se controla el exceso del caudal llamado aliviadero, otra zona donde se ha instalado un rejilla para capturar materiales finos, gruesos o grasas y aceites, si es que el caudal presenta un alto contenido de estos materiales y por último una zona en donde se ubica un desarenador, el cual captura una parte de las partículas orgánicas y permite separar los materiales superiores a 200 µm (García & Corzo, 2008).

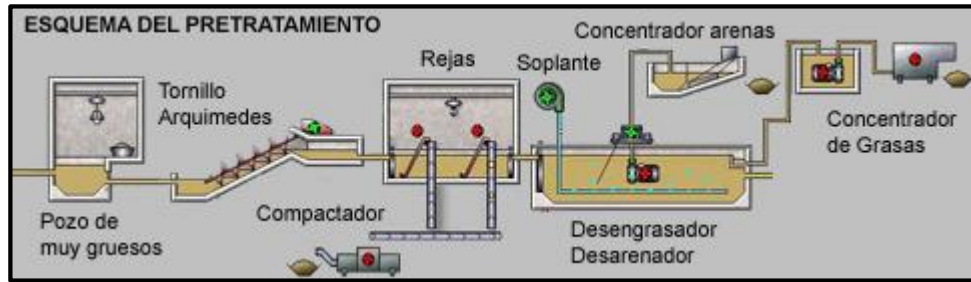


Figura 11: Esquema de un pretratamiento. Tomado textualmente de Wiki books (2016).

Posteriormente, el fluente producido en esta fase de pretratamiento es dirigido a las estructuras que se encargaran de realizar el tratamiento primario, a través de fosas sépticas, lagunas facultativas o tanques Imhoff, los cuales se han diseñado, con el fin de sedimentar la materia en suspensión y acumularla en el fondo del sistema en forma de lodos, los cuales paulatinamente se van a ir descomponiendo por procesos anaeróbicos y dependiendo del tipo de sistema usado, la cantidad de lodos que va ingresar al humedal construido va ser menor, permitiendo que los procesos de depuración de estos sistemas puedan trabajar más eficientemente. (Díaz, 2014)

La evolución histórica que han tenido estos sistemas, demuestra una gran experiencia por parte de algunos países de Europa y Norteamérica, los cuales constantemente se encuentran diseñando y mejorando el rendimiento de estos humedales, aplicándolos a varios tipos de agua residual o a los proyectos de recuperación ecológica de espacios naturales.

Las ventajas económicas y ambientales que ofrecen los humedales construidos, han ocasionado una propagación acelerada de estos en los últimos años por varias partes del planeta (incluyendo Colombia) para diferentes actividades productivas y residenciales.

Para finalizar, quiero resaltar algunas experiencias que se han implementado en el territorio colombiano a través de estos sistemas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, de granjas porcinas, granjas avícolas y para la recuperación de una quebrada en los Cerros Orientales de Bogotá, demostrando un gran interés por conocer mucho más la adaptabilidad de estos humedales a las zonas tropicales del país (Arias *et al.*, 2010; Arenas & Nuncira, 2010; Lara & Baquero, 2013; Zapata, 2014).

CAPITULO 8: Construcción de Humedales

Para el establecimiento de humedales construidos se requieren procesos bastante sencillos pero que deben ser rigurosamente monitoreados, de manera que las características proyectadas para el tipo de humedal, puedan funcionar correctamente y mantenerse en el tiempo exitosamente. En el siguiente capítulo se describirán los pasos generales que se deben tener en cuenta en la fase de construcción de todos los tipos de humedales artificiales (figura 10), realizando una serie de recomendaciones en algunas de las etapas de este proceso, basándose en las características ambientales de la matriz adyacente que presentan los humedales de Bogotá.

8.1. Limpieza, excavación y nivelación del terreno

La primera etapa de la construcción, corresponde a la poda de la capa superficial de la vegetación, es decir a una profundidad de aproximadamente 30 cm, para este procedimiento es necesario una retroexcavadora y vehículos de carga como una volqueta que retiren el material extraído, así mismo los residuos vegetales, la basura y los escombros que se encuentre en el sitio de construcción deben ser retirados, con el fin de que se pueda visualizar claramente la plataforma de trabajo (figura 12), en donde van reposar los componentes de los humedales descritos en el capítulo VII; el material vegetal que haya sido retirado puede ser utilizado para mejorar las condiciones de los suelos adyacentes al sistema, entre ellos, para procesos de compostaje (García & Corzo, 2008).



Figura 12: Limpieza de la plataforma de trabajo en la construcción de un humedal. Tomado textualmente de: García & Corzo (2008).

Una vez establecida la plataforma de trabajo, se toman las dimensiones que se diseñaron teóricamente, utilizando estacas o banderillas que señalen los puntos principales en donde van a estar ubicados los componentes básicos del humedal y los límites del sistema (Kadlec & Wallace, 2009). Estas referencias también

funcionan como guías para demarcar apropiadamente los puntos en donde se van a establecer las tuberías, los medidores de caudal, entre otros elementos específicos que garantizan el funcionamiento de cada uno de los componentes del humedal.

8.2. Movimiento de tierras

Una vez definida las ubicaciones de cada uno de los componentes del humedal, se procede a excavar o rellenar la plataforma de trabajo, según sea el tipo de elemento en el sistema, usando preferiblemente el material que fue extraído en la primera etapa, en este procedimiento se utilizan medios mecánicos convencionales o generalmente una excavadora, luego se instalan los componentes, basándose en los datos hidráulicos obtenidos durante la proyección del sistema y el reconocimiento previo del lugar (Vymazal, 2008).

Según la topografía del lugar, será necesario adaptar la altura del sistema mediante taludes o montículos que pueden ser temporales o permanentes, en estos montículos, se debe realizar una limpieza de su superficie para que evite el desprendimiento de rocas, así mismo, estos funcionan como barrera para que materiales finos por arrastre no ingresen al humedal y alteren su funcionamiento (García & Corzo, 2008).

La parte externa de los montículos que van a separar las celdas del humedal (figura 13), deben tener una capa consistente de vegetación, de manera que esta lo proteja contra la erosión y le permite capturar parte del material particulado que pueda ingresar al sistema, esto es de suma importancia que los canales o zanjas en donde se hayan instalado las tuberías, no vayan a ser vía de paso para vehículos pesados, ya que pueden alterar la ubicación de la tubería y puede estar propensas a fugas o rupturas por movimientos naturales del terreno (EPA, 2000).



Figura 13: Conformación espacial de las celdas en un humedal construido. Tomado textualmente de: García & Corzo. (2008)

En Bogotá, a pesar de todos los factores que se relataron en los capítulos 4 y 5 sobre el deterioro que ha sufrido el agua subterránea a lo largo de la sabana de Bogotá, la matriz adyacente a los humedales de la ciudad, por lo general presenta un nivel freático muy cercano a la superficie, debido en gran parte a los ciclos naturales de estiaje e inundación que manejan estos ecosistemas (Calvachi, 2003). Por lo tanto, es recomendable tener disponible equipos de bombeo que evacuen el exceso de agua y un sistema de drenaje bajo las celdas del sistema, de tal forma que los hundimientos en estas estructuras sean evitados y la plataforma de trabajo se pueda consolidar de manera efectiva (Zapata, 2014).

8.3. Nivelación y compactación de las celdas

Este procedimiento es bastante sencillo y muy importante para el correcto funcionamiento del humedal, debido a que si este se realiza de manera equivocada, provocara que los límites de las celdas tengan fugas o una pendiente errónea, lo cual ocasiona que el flujo no circule de manera uniforme y altere la eficiencia del sistema (Arenas & Nuncira, 2010).

El éxito de este proceso, se basa en una buena compactación del fondo del sistema, mediante varias capas del material seleccionado en el laboratorio, el cual se calcula teniendo en cuenta los valores óptimos de humedad y compactación que requiere el suelo en donde se va establecer el humedal (Kadlec & Wallace, 2009). Por último, una vez terminado el movimiento y nivelación del sistema, es recomendable comprobar las dimensiones finales, a través de un levantamiento topográfico que permita visualizar la estructura base en donde van a reposar el resto de los componentes (Fernández, 2001).

8.4. Sistema de distribución y recogida

Este sistema va ser el encargado de recibir, enlazar y circular el agua por las diferentes zonas del humedal, de manera que puedan ocurrir los procesos de depuración del afluente, así pues, los elementos que conforman este sistema son las arquetas o cajas de captación y circulación de agua (figura 14), las tuberías y los canales (Espinosa, 2014).

En el momento de ubicar las arquetas, se debe excavar un diámetro mayor al que posee la arqueta, de manera que se pueda manipular fácilmente su posición y posteriormente se fija al suelo con cemento o el material de compactación, en cuanto la tubería, es recomendable que estas queden envueltas en una capa de arena y el resto con el material de compactación, así mismo se debe prestar mucha atención a las uniones y puntos en donde el flujo cambie de dirección, debido a que estas zonas son las más sensible al deterioro de la tubería por acumulación de materiales finos (García & Corzo, 2008).

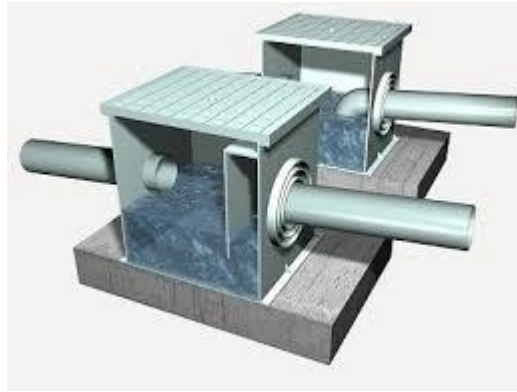


Figura 14: Arqueta o caja de distribución del fluido. Tomado textualmente de Vilssa Formación, <http://vilssa.com/arquetas-sifonicas>

Por último, los canales de entrada van a estar ubicados en la cabecera o a lo ancho del sistema, dependiendo el tipo de humedal que se vaya a construir, de manera que el fluido se reparta a lo largo de todos los componentes del humedal, garantizando una remoción efectiva de la carga contaminante que ingresa y para la cual fue diseñado (EPA, 2000).

8.5. Impermeabilización

El proceso de impermeabilización puede efectuarse con varias capas compactadas de arcilla y los costos del proyecto se ven reducidos, sin embargo, esta medida implica un gran riesgo para las paredes y el fondo del sistema que pueden originar filtraciones, por lo tanto, lo más recomendable que se ha utilizado en la construcción de humedales a lo largo de la historia, consiste en instalar una geomembrana o lamina de aislamiento (figura 15), cuyo tamaño se basa en los cálculos de forma y tamaño que requiere el sistema, de tal forma que una vez finalizada la construcción de las celdas, los técnicos puedan acceder al sitio y tomar las medidas finales que va a tener la geomembrana (Lahora, 2003).



Figura 15: Instalación de geomembrana en un humedal artificial. Tomado textualmente de: Delgadillo *et al.* (2010).

La ubicación de este elemento, debe hacerse con sumo cuidado, evitando que se creen arrugas sobre la lámina, realizando el ensamble de todas las uniones con soldadura térmica y fijando las geomembranas a la parte más alta de los taludes, de esta manera, una vez instalada en el terreno, podrá servir como soporte para una lámina de geotextil, si es que se requiere y los diferentes componentes que va tener el humedal (Von Munch, 2009).

8.6. Material granular

Este componente de los humedales artificiales incluye el suelo, la arena, la grava y las rocas, las cuales pueden variar según la capacidad de carga con la que fueron diseñados, determinando el movimiento del agua a través del humedal y permitiendo que los procesos de absorción, adsorción, sedimentación, entre otros, puedan ocurrir exitosamente (Montiel, 2014).

El substrato que se haya seleccionado, va ser el encargado de sostener los sedimentos vegetales del sistema, los cuales en la producción de nitritos y otros minerales que se generan a través de los procesos de descomposición y muerte de la biota, van a ser los elementos químicos que los microorganismos van a utilizar en la transformación y depuración del afluente (Kadlec & Wallace, 2008).



Figura 16: Relleno del lecho con material granular en sistema de humedal. Tomado textualmente de: García & Corzo (2008).

Por último, el relleno de las celdas con el material granular, debe realizarse con maquinaria ligera que no produzca alteraciones en la profundidad y forma del humedal o con maquinaria pesada que introduzca el material desde el exterior de las celdas (figura 5), de esta manera el material se extiende sobre todo el

lecho del sistema y se conforman las capas o altura que se haya calculado para este componente (Gonzales & Valdés, 2011).

8.7. Vegetación

La composición de las plantas del sistema es el segundo factor en el éxito o fracaso de los humedales artificiales, debido a que las raíces, tallos, entre estos rizomas, permiten la penetración del oxígeno al interior del sistema, a través de un proceso de aireación (figura 17), así mismo, los residuos vegetales, sirven como sustrato para el crecimiento de la película microbiana que hace parte de la dinámica indispensable para que los procesos biológicos de depuración ocurran en el sistema (Fernández, 2001).

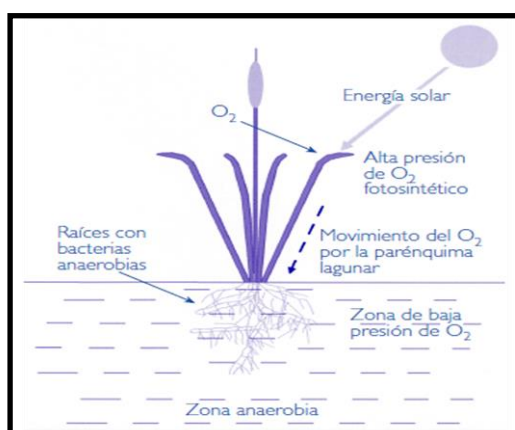


Figura 17: Procesos de aireación en la rizosfera de las macrófitas emergentes de los humedales. Tomado textualmente de: Fernández (2001).

La siembra de la vegetación es la última etapa en el proceso de construcción de un humedal, una vez finalizado el relleno del material granular, su nivelación, todas las estructuras (arquetas, tuberías, canales, medidores, etc.) se hayan conectado y su dinámica hidráulica haya sido comprobada, las macrófitas estarán listas para ser depositadas en agujeros de entre 3 y 5 cm de diámetro hecho por un barrenador (figura 18), posteriormente el nivel del agua debe estar 1 o 2 cm por encima de la capa granular, de manera que las hierbas no deseadas no logren reproducirse y las plantas tenga el suficiente contacto con el aire, de tal forma que el crecimiento de la vegetación plantada no se vea limitado (Vymazal, 2011).

Es importante mencionar que los sistemas de humedales construidos alrededor del mundo, han utilizado metódicamente especies de macrófitas emergentes como las eneas (*Typha sp.*) y los carrizos (*Phragmites sp.*), debido a la abundante información ecológica que se ha obtenido a partir de los modelos experimentales que se han construido desde los años 60 (Arias & Brix 2003). No obstante, vale la pena mencionar las especies vegetales que se han utilizado masivamente en los sistemas de humedales (tabla 4).



Figura 18: Operaciones de plantación de la vegetación en un sistema de humedal. Tomado textualmente de: García & Corzo (2008).

Es de vital importancia resaltar que en el momento de instalar un sistema de humedal en las áreas adyacentes a los humedales de Bogotá, la plantación debe estar compuesta por especies nativas; por ejemplo de los géneros *Typha*, *Scirpus*, *Echicornia*, *Azolla*, *Juncus*, *lemma*, los cuales han sido descritas como plantas con una alta capacidad para depurar contaminantes a través de sus estructuras vegetales (CAR, 2011; FHB, 2012).

De esta manera, la utilización de especies exóticas a la que han sido expuestos los humedales de la ciudad desde la colonia, es una dinámica que no debe usarse nunca, debido a los impactos negativos que ocasionaron. En capítulos anteriores, principalmente en el cinco y seis de este documento, se describen ampliamente tales impactos.

Es importante recordar que si la vegetación del sistema no logró adaptarse, ósea que su ciclo de crecimiento, floración, producción de semillas y fluorescencia en sus partes aéreas no se completó, la plantación debe ser reemplazada después de un tiempo de operación (García & Corzo, 2008). También, la vegetación ornamental que se decida para el sistema, debe sembrarse una vez culminada la obra, de manera que delimitados los caminos y los sitios aptos para la siembra ornamental, las especies nativas que vayan a usarse van a funcionar como zonas de paso para aves o mamíferos. (EPA, 2000)

En síntesis, la construcción de humedales, no requiere grandes adecuaciones ni una alta complejidad en el momento de realizar la obra, siempre cuando los cálculos teóricos hayan sido adecuados y se haya ejecutado correctamente los análisis de los caudales, la calidad del suelo y factores ambientales como precipitación, temperatura, radiación solar, entre otras.

Es recomendable desarrollar los proyectos, como se mencionan en este documento, con un equipo interdisciplinario (*profesionales en ciencias ambientales, ingenieros ambientales y/o sanitarios, arquitectos, abogados,*

constructores, operarios y comunidad), de manera que los posibles impactos que producen la construcción de estos sistemas, sean valorados en el diagnóstico y desarrollo del proyecto, con lo cual se garantiza una buena conexión entre los aspectos técnicos, ambientales y económicos que tienen estos sistemas “naturales” de depuración, de tal forma que la vida útil del humedal artificial se pueda prolongar y se logre ajustar o aproximar a las dinámicas de los humedales naturales de Bogotá.

Macrófitas más usadas en los Humedales Construidos				
Tipo	Familia	Genero	Especie	Nombre común
Flotantes	Pontederiaceae	<i>Echicornia</i>	<i>Echicornia crassipes</i>	Bora
	Araceae	<i>Lemma</i>	<i>Lemma minor</i>	Lenteja de agua
Sumergidas	Plantaginaceae	<i>Littorella</i>	<i>Littorella uniflora</i>	Césped de acuario
	Nymphaeaceae	<i>Nymphaea</i>	<i>Nymphaea alba</i>	Rosa de venus
Emergentes	Cyperaceae	<i>Carex</i> <i>Eleocharis</i> <i>Scirpus</i>	<i>Carex</i> sp. <i>Eleocharis</i> sp <i>Scirpus fluviatilis</i> <i>Scirpus validus</i> <i>Scirpus cyperinus</i>	Cortaderas
	Poaceae	<i>Glyceria</i> <i>Phragmites</i>	<i>Glyceria fluitans</i> <i>Phragmites australis</i>	Esteba Carrizo
	Iridiaceae	<i>Iris</i>	<i>Iris pseudacorus</i>	Lirio amarillo
	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>Juncus</i> sp.	Juncos
	Tifaceae	<i>Thypa</i>	<i>Thypa latifolia</i> <i>Thypa glauca</i> <i>Thypa angustifolia</i>	Eneas

Tabla 4: Especies vegetales más usadas en los humedales construidos. Adaptado de: Lara (1999); Kadlec & Wallace (2009).

CAPITULO 9: Humedales de Flujo Superficial

A lo largo de la historia, los tipos de humedales construidos mencionados en los capítulos anteriores, han generado soluciones sostenibles para tratar la contaminación del agua y la pérdida de ecosistemas naturales, así mismo, el estudio de estas tecnologías, ha consolidado las bases técnicas para la construcción, operación y mantenimiento de estos sistemas, por lo tanto, en este capítulo, se describirán los aspectos teóricos más relevantes que tienen los humedales de flujo superficial (**FWS**), así como las ventajas ambientales que estos sistemas ofrecen, de manera que esta información sirva como fundamento técnico para sugerir este tipo de sistemas en la recuperación de los humedales capitalinos.

9.1. Generalidades

Los humedales construidos de flujo superficial se definen como aquellos sistemas en donde el agua está expuesta a la atmosfera y se instalan preferiblemente sobre áreas abiertas, en donde el agua fluya de manera horizontal, a través de macrófitas flotantes, emergentes o sumergidas, las cuales están presentes tanto en la zona de entrada como en la salida del humedal y son las encargadas de realizar diferentes procesos biológicos en la depuración del afluente que ingresa al humedal (Lahora, 2003).

Estos humedales han evolucionado desde un uso exclusivo para optimizar funciones básicas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, hasta sistemas que contribuyen a mejorar las condiciones ecológicas de los ecosistemas naturales y generan oportunidades de esparcimiento en la población (EPA, 2000).

Es importante resaltar que ha sido uno de los sistemas más usados en los últimos 30 años, particularmente en Norteamérica y Europa para el tratamiento de aguas residuales de gravilleras, aguas lluvias, aguas residuales de agricultura, industria, para recuperar aguas subterráneas y tratamiento de lixiviados, tal como lo subraya Vymazal (2008), en el cual muestra algunos ejemplos de estos sistemas y el tipo de agua residual que reciben (tabla 5).

En el caso de los **FWS**, su configuración es muy parecida a la de los humedales naturales, de manera que muchos insectos, moluscos, anfibios, reptiles, aves y mamíferos pueden verse atraídos por el establecimiento de estos humedales, así mismo, estas características han hecho que pocas veces sean usados para tratamiento primario de aguas residuales y más bien se hayan popularizado para tratamientos cuyo afluente proviene de tratamiento secundarios, terciarios y en menor proporción para proyectos que ayudan a recuperar la calidad ecológica de ecosistemas naturales (Kadlec & Wallace 2009; Murray *et al.*, 2013).

Tipo de Agua Residual	País	Referencia
<i>Domestica municipal</i> -Agricultura -Granjas porcinas -Producción de lácteos	USA USA Canadá	McCiskey & Hannah (1997) Reaves & Dubowry (1997) Hermans & Pries (1997)
<i>Pluvial</i> -Zona de pastoreo -Cultivo de caña de azúcar -Zona residencial	Nueva Zelanda Zambia Australia	Tanner <i>et al.</i> (2005) Musiwa <i>et al.</i> (2002) Bavor <i>et al.</i> (2001)
Drenaje de Minas -Mina de uranio -Mina de cobre -Mina de oro	Australia Canadá Canadá	Overral & Party (2004) Sobolewiki (1996) Bisbay & kadlec (2005)
Industrial -Refinería -Matadero -Cultivo de camarón -Fábricas de azúcar -Procesamiento de comida -Explosivos	China Canadá USA Kenia Grecia USA	Dong & Lin (1994) Goulet & Serodes (2000) Tiley <i>et al.</i> (2002) Tonderski <i>et al.</i> (2005) Kapellakis <i>et al.</i> (2004) Best <i>et al.</i> (2000)
Lixiviados	Suecia USA	Benyamine <i>et al.</i> (2004) Martin <i>et al.</i> (1993)

Tabla 5: Experiencias Internacionales en Humedales Construidos de Flujo Superficial (**FWS**). Tomado y modificado de: Vymazal (2008)

En cuanto a los componentes, los **FWS** (figura 19) generalmente son muy económicos, debido a que no necesitan electricidad para operar, el mantenimiento técnico es bastante sencillo, ya que no requiere grandes capacidades técnicas y la hidrodinámica del sistema requiere de estructuras y cálculos menos complejos que los que se realizan en los humedales de flujo Subsuperficial (Montiel, 2014).

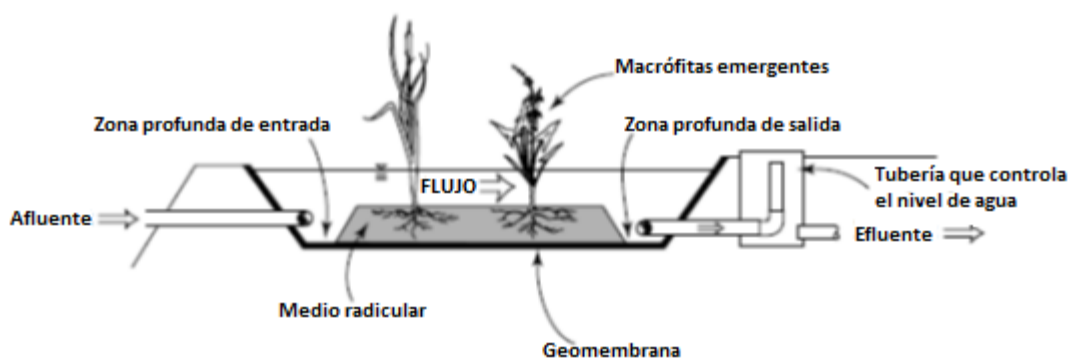


Figura 19: Esquema general de los componentes de un humedal de flujo superficial. Tomado y modificado de: Kadlec & Wallace (2009).

9.2. Diseño de un humedal de flujo libre superficial

En el momento de diseñar estos sistemas, se debe tener en cuenta que estos requieren, en lo posible de áreas extensas, de manera que los procesos biológicos de depuración que van a ocurrir en el sistema sean mucho más eficientes, y permiten crear las condiciones que van a favorecer la actividad de especies animales como insectos, aves y pequeños mamíferos, así mismo, la hidráulica del humedal, debe ser calculada para asegurar una distribución y recolección uniforme del fluido, con el fin de emular la hidrodinámica de un humedal natural (Murray *et al.*, 2013).

9.3. Dimensión biológica

Si el propósito del humedal es únicamente el tratamiento de aguas residuales, la diversidad de la vegetación no se considera como un elemento importante para el sistema, de tal forma que se construyen con una o dos especies de macrófitas; sin embargo, en los casos que se vaya a diseñar con el fin obtener ventajas ambientales, como es el objetivo de este documento, debe a concentrar varias especies vegetales nativas que ayuden a controlar la proliferación de los microorganismos acuáticos, así como algunos insectos que se desplazan en la parte superficial (CAR, 2011).

Adicionalmente, EPA (2000) considera muy importante, alternar zonas someras con vegetación sumergida que proporcione oxígeno para la nitrificación y una zona más profunda (entre 1 - 2 metros) que permitirá la reaireación del sistema y, que las aves acuáticas, se vean atraídas hacia el espejo de agua, en donde pueden nadar, refrescarse o conseguir macroinvertebrados acuáticos para alimentarse.

Las características físicas del sistema de flujo superficial, permite generar alternativas sostenibles para recuperar parte de las condiciones ecológicas de los humedales naturales, como por ejemplo aportar un caudal de agua de buena calidad, crear zonas de paso para los animales, establecer condiciones acuáticas óptimas para que organismos de diferentes niveles tróficos puedan reproducirse exitosamente (Lahora, 2003).

De esta manera, la presencia de aves locales y migratorias que forrajean en los humedales de la ciudad, podrían tener un espacio más amplio y con buenas condiciones ecológicas.

Los **FWS**, son construidos con uno o más canales cuya profundidad oscila entre 0.2 y 2 metros (figura 20); la vegetación (*emergente/flotante*) brinda sombra en la superficie del agua, reduce la turbulencia provocada por el viento y a su vez transporta oxígeno al interior del sistema, a través de sus raíces y rizomas, permitiendo que se creen condiciones aeróbicas favorables para que algunos

procesos de remoción, como la desnitrificación, puedan ocurrir de manera efectiva (Fernández, 2001).

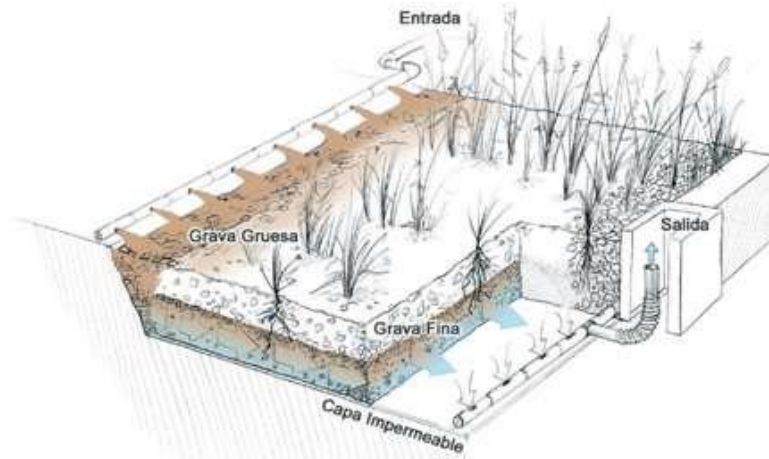


Figura 20: Corte esquemático de un humedal artificial. Tomado textualmente de: Madrimasd. (2013). <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>

Es importante resaltar que estos sistemas se adaptan bastante fácil a los regímenes climáticos tropicales, debido a que las temperaturas a las que pueden estar expuestos, es un factor que puede favorecer los procesos biológicos del humedal, haciendo énfasis en el caso de Bogotá, en donde estos sistemas originalmente han existido y podrían funcionar de manera muy eficiente; aspecto que no sucede en países del norte, de la zona templada, ya que la hidrodinámica y los procesos biológicos se ven limitados debido a que sus lagos se congelan y la nieve se encuentra sobre la vegetación (Kadlec & Wallace, 2009).

9.4. Dimensión hidráulica

El diseño hidráulico en los humedales construidos, es el factor más importante para obtener los rendimientos esperados con respecto a los procesos de depuración que va a ejecutar el sistema; ahora bien, los modelos de estos sistemas, se basan en reacciones cinéticas de primer orden para flujo en pistón, lo que quiere decir que la velocidad de reacción será sólo función de la concentración de los contaminantes y la depuración de estos va a variar según el tamaño de humedal (Cooper *et al.*, 1996).

Los modelos matemáticos para diseñar humedales de flujo superficial, han sido descritos de manera detallada por Kadlec & Knight, (1996); Borrero, (1999); EPA, (2000), Silva y Zamora (2005) y Kadlec & Wallace (2009). A continuación, se describirán las ecuaciones que son usadas en los trabajos mencionados para diseñar correctamente la velocidad del flujo, el factor de resistencia, la longitud, la profundidad, el tiempo de retención hidráulico y la carga hidráulica en este tipo de humedales.

9.4.1. Velocidad del flujo:

El flujo a través del humedal debe superar la resistencia impuesta por la vegetación, el medio granular, las raíces de las plantas y los sólidos acumulados; la energía para romper esta resistencia está dada por la pérdida de carga entre el ingreso y salida del caudal, de manera que se le asigna una pendiente al fondo del humedal con una salida de altura variable (Delgadillo *et al.*, 2010; Borrero, 1999).

La ecuación de Manning es la que se ha utilizado para definir la velocidad del flujo en los FWS, la cual depende de la profundidad del agua, la pendiente de la superficie del agua y la densidad de la vegetación es descrita en la ecuación (1).

$$v = \frac{l}{n} * y^{\frac{2}{3}} * s^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Donde:

v: velocidad de flujo, m/s

n: coeficiente de Manning, m/s

y: profundidad del agua en el humedal, metros (m)

s: gradiente hidráulico o pendiente de la superficie del agua, m/m

9.4.2. Factor de resistencia

El número de Manning (n) es función de la profundidad del agua debido a la resistencia impuesta por la vegetación emergente, la cual también depende de la densidad de la vegetación y de la capa de residuos que puede variar según los factores ambientales del lugar, así pues la relación está definida por (Silva & Zamora, 2005):

$$n = \frac{a}{y^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

Donde:

a: factor de resistencia, s * m^{1/6}

0.4 para vegetación escasa y > 0.4 m

1.6 para vegetación moderadamente densa con y ≈ 0.3 m

6.4 para vegetación muy densa con y ≤ 0.3 m

9.4.3. Longitud del humedal

Para determinar la longitud del humedal se debe tener en cuenta las siguientes ecuaciones (Borrero, 1999):

$$V = \frac{Q}{W * y} = \frac{Q}{AT}$$

$$W = \frac{As}{L}$$

$$S = \frac{m * y}{L}$$

$$t = \frac{As * y * n}{Q}$$

Donde:

Q: caudal, m³/día

n: pendiente del humedal, % expresado como decimal

W: ancho del humedal, (m)

AT: área transversal del humedal, (m²)

As: área superficial del humedal, (m²)

L: longitud del humedal, (m)

Remplazando las anteriores ecuaciones se obtiene la ecuación (3) para calcular la longitud del humedal:

$$L = \left[\frac{As * y^{\frac{8}{3}} * m^{\frac{1}{2}}}{a * Q} * 86400 \right]^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

9.4.4. Tiempo de retención hidráulico

Es la relación teórica entre el volumen del humedal disponible para el flujo, el cual incluye los efectos de reducción del volumen por vegetación, porosidad del material granular y el caudal (Kadlec & Wallace, 2009).

$$t = \frac{V * \varepsilon}{Q_{AVE}} \quad (4)$$

$$Q_{AVE} = \frac{Q_i + Q_o}{2} \quad (5)$$

Donde:

- t: tiempo de retención hidráulico, (t)
- V: tiempo de retención hidráulico, (L³)
- ε: porosidad del sistema, fracción decimal
- QAVE: caudal promedio en el sistema, (L³/t)
- Qi: caudal de entrada en el sistema, (L³/t)
- Qo: caudal de salida en el sistema, (L³/t)

9.4.5. Carga hidráulica.

La carga hidráulica teórica es el volumen del fluido que puede soportar el sistema, sobre la cual el sistema va operar la mayor parte del tiempo y se calcula a través de la siguiente ecuación (6) (Kadlec & Knight, 1996):

$$q = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Donde:

- q: carga hidráulica en la entrada (L/t)
- Q: caudal (L³/t)
- A: área superficial del humedal, (L²)

A partir de los cálculos obtenidos con las ecuaciones descritas anteriormente, el contaminante que requiere la mayor área para su remoción, determina el área superficial que va tener el humedal (EPA, 2000). Por lo tanto, los modelos hidráulicos sobre la remoción de los contaminantes, se encuentran descritos de manera detallada en los trabajos citados, así pues, cuando se vaya a diseñar el humedal de tipo **FWS**, el profesional deberá consultar estas fuentes, de manera que pueda determinar el modelo de remoción más adecuados para el tipo de caudal que va fluir en el sistema.

9.5. Caudal del sistema

En los sistemas **FWS**, por lo general el afluente del sistema proviene de un tratamiento primario y en algunos casos secundario (figura 21), debido a que el efecto de la vegetación es mucho mayor cuando el afluente ha sido diluido, eliminando una mayor cantidad de contaminantes y materia orgánica (Álvarez & Bécares, 2011).

Adicionalmente, la experiencia con este tipo de humedales, ha sido una estrategia muy positiva para recuperar funciones ecológicas de ecosistemas naturales y tratar aguas residuales urbanas, por lo cual, es una de las mejores opciones para los humedales de Bogotá que tengan áreas lo suficientemente

amplias que permitan implementar adecuadamente este tipo de sistema (Murray *et al.*, 2013).

La distribución del fluido debe ser uniforme para que la remoción sea lo más cercano al 100%, esto se logra a través de los cálculos hidráulicos, de tal forma que la hidrología del sistema se pueda monitorear y los resultados permitan seleccionar adecuadamente el gradiente del sistema, el material granular, las especies vegetales, las estructuras de entrada y salida, con el fin de que el caudal se desplace sin conexiones erradas (Vymazal *et al.*, 1998).

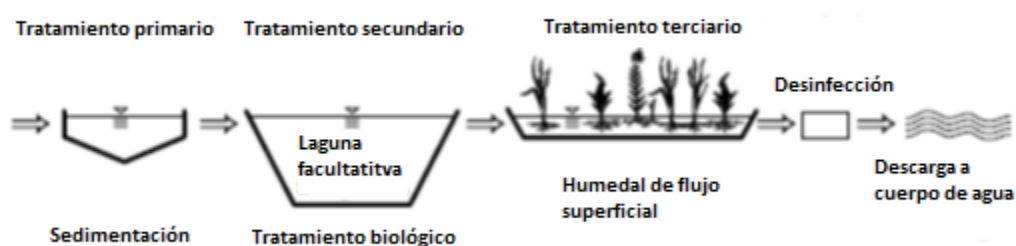


Figura 21: Modelo de aplicación ideal de los FWS. Tomado y modificado de Kadlec & Wallace (2009).

Los parámetros fisicoquímicos del caudal que estaría disponible para implementar estos sistemas, ha sido descrito en el capítulo anterior, por lo tanto, es muy importante remitirse a los lineamientos jurídicos que se describieron y los límites permisibles de las variables físicas y químicas que debe llevar el vertimiento, el cual es originado por el sistema que se vaya a construir en las áreas continuas a los humedales de Bogotá.

9.6. Mecanismos de Eliminación

Los humedales superficiales **FWS** contienen sólidos suspendidos totales **SST**, cuyos componentes bioquímicos, generan una demanda biológica de oxígeno (**DBO**), una demanda química de oxígeno (**DQO**), coliformes fecales, trazas de metales y compuestos orgánicos complejos, los cuales deben ser calculados y van a permitir conocer el rendimiento que presenta el sistema, en cuanto a los procesos de remoción que fueron proyectados en la etapa de diseño (EPA, 2000).

A través de la medición de los parámetros físicos y químicos, es posible determinar el desempeño que tienen los mecanismos de eliminación en el humedal, así pues, es importante conocer el comportamiento de los contaminantes que se buscan remover del caudal, con el fin de sugerir la mejor opción para la recuperación de los humedales naturales urbanos.

9.6.1. Materia en suspensión

Una de las mejores características de los **FWS** es un alto porcentaje de remoción de sólidos suspendidos **SST**, especialmente en la sección inicial del humedal, debido a que las condiciones del fluido en esta sección son tranquilas y a poca profundidad, igualmente, los residuos vegetales que se transportan a lo largo del humedal, actúan como pequeñas trampas que logran capturar una parte de los sedimentos y ofrecer un ambiente óptimo para el crecimiento de los microorganismos (Kadlec & Wallace, 2009).

Es importante recordar que el afluente que va a ingresar al humedal, debe provenir de un pretratamiento o tratamiento, el cual se va a encargar de separar materiales como plásticos, cartones u otros elementos de gran tamaño. De esta manera, la oxidación o reducción de los SST, van a liberar formas solubles de DBO, y otros elementos orgánicos e inorgánicos que van a estar disponibles para la absorción por el suelo y la remoción por parte las poblaciones microbianas y vegetales activas a lo largo del humedal (EPA, 2000).

Por último, la remoción de los SST en este tipo de humedales, se destaca por la baja velocidad que debe llevar el agua a través del sistema, de manera que todos los componentes tengan un tiempo de retención lo suficientemente largo para que las reacciones biológicas puedan transformar los sólidos suspendidos y sedimentar los elementos contaminantes (Delgadillo *et al.*, 2010).

9.6.2. Materia orgánica

Los compuestos orgánicos son degradados en mayor proporción, a través de la biodegradación aeróbica o anaeróbica de los microorganismos que se encuentran adheridos a la vegetación, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos; en menor proporción, la materia orgánica se degrada mediante procesos físicos como la sedimentación, filtración o fijándose a los sólidos suspendidos del sistema (Silva & Zamora, 2014).

La DBO₅ se reduce significativamente en los **FWS**, principalmente por la interacción entre el oxígeno disponible por la aireación de la superficie y la transferencia de oxígeno que se realiza a través de los rizomas de la vegetación, permitiendo que las reacciones de degradación sean más eficientes y el crecimiento microbiano que habita en las raíces, tallos y hojas de las plantas se logre consolidar (Fernández, 2001).

Los microorganismos involucrados en el proceso de degradación, requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevos nutrientes o elementos trazas, a través de microorganismos autótrofos, cuya fuente de carbono es el dióxido de carbono CO₂ y los heterótrofos, cuya fuente carbono es el material orgánico; ambos tipos de microorganismos utilizan reacciones de óxido-reducción como fuente de energía para las síntesis químicas y biológicas que van a ocurrir en el sistema (Delgadillo *et al.*, 2010).

9.6.3. Nitrógeno

La mayor parte del nitrógeno contenido en el caudal que va a ser incorporado al humedal construido, está presente en forma de amonio y va a ser removido o transformado a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación (figura 22), dependiendo de la cantidad de oxígeno que esté disponible en el sistema (Kadlec *et al.*, 2000).

En otras palabras, en las zonas aeróbicas va a ocurrir la nitrificación, teniendo como fuente de energía el amonio o nitrito y el dióxido de carbono como fuente de carbono, los cuales van a estar acompañados por diferentes especies de bacterias nitrificantes quimioautótrofas; en las zonas anaeróbicas va a ocurrir la desnitrificación y es el paso final para la remoción del nitrógeno, en donde el oxígeno va a estar presente en forma nitritos y nitratos (Delgadillo *et al.*, 2010).

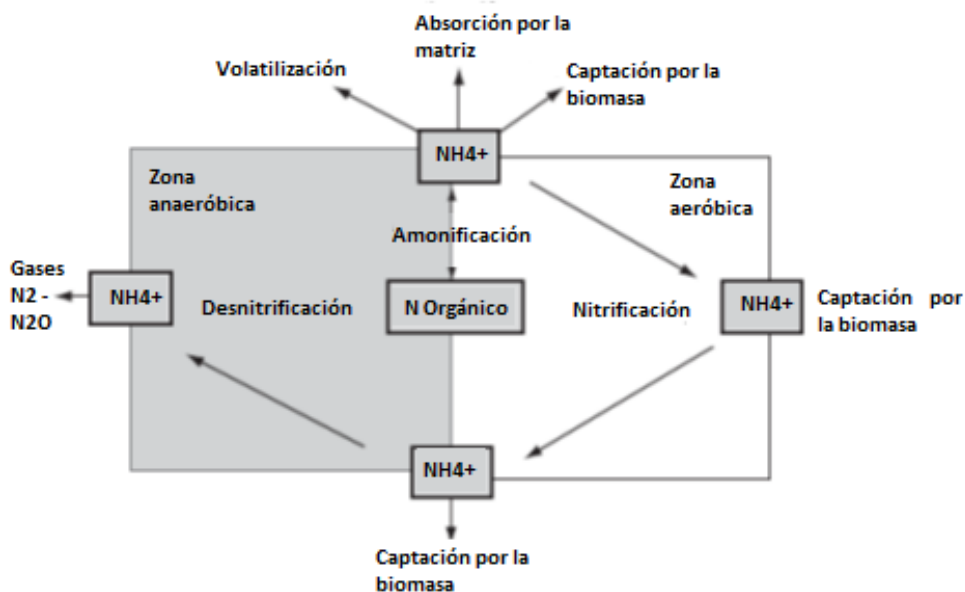


Figura 22: diagrama de la remoción de nitrógeno. Tomado y modificado de: Cooper *et al.* (1996).

Hay que tener en cuenta que los **FWS** pueden producir concentraciones bajas de nitrógeno, siempre y cuando los tiempos de retención del fluido sean prolongados, debido a que algunos procesos químicos como la nitrificación del amoníaco, presentan limitaciones para su remoción, ya que la mayor parte del humedal tiene características anóxicas que impiden la activación de esta reacción; por lo tanto, es recomendable alternar la profundidad del cuerpo de agua, de tal forma que haya una mayor reaeración y junto a la vegetación sumergida, la cantidad de oxígeno sea suficiente para la nitrificación (EPA, 2000).

9.6.4. Fosforo

Es uno de los elementos más complejos de remover en los humedales construidos, aún más, si el sistema no fue diseñado con un área extensa, rica en grava, hierro y aluminio (Gomez *et al.*, 2001). En el caso de los FWS, por lo

general han sido implementados en áreas grandes, permitiendo que la remoción de este elemento sea mayor que en otros tipo de humedales, sin embargo la cantidad de fosforo asimilado por la vegetación y el material granular con relación al caudal de entrada es muy baja (Kadlec *et al.*, 2000; Lahora, 2003) (tabla 6).

9.6.5. Metales pesados

Los procesos de adsorción, precipitación, sedimentación, erosión y difusión, determinan la distribución de los metales pesados como el Cd, Pb, Zn, Cu, entre otros, los cuales pueden ser oxidados por bacterias aeróbicas o anaeróbicas que se encuentran en los humedales y su función principal es precipitar estos elementos en óxidos de metales y sulfatos, de manera que las bacterias que se desarrollan en el lecho del sistema puedan degradar periódicamente estos elementos químicos(Delgadillo *et al.*, 2010).

En los **FWS**, los procesos físicos y químicos para depurar, de estos elementos, el afluente son bastante buenos, no solo por el caudal que va ser dispuesto a la red hídrica de alcantarillado o al humedal natural, sino que va generar condiciones ecológicas adecuadas para que otros animales puedan obtener alimento o refugio de este sistema, inclusive aquellos que son altamente sensibles a los cambios ambientales como las ranas y sapos, siendo una estrategia sostenible para tratamientos de aguas residuales a nivel urbano o rural pero también con grandes ventajas ambientales (Si *et al.*, 2014).

9.6.6. Bacterias y/o patógenos

La remoción de estos microorganismos, se basa en una serie de factores físicos, entre los que se encuentran la filtración, sedimentación, radiación biológica y factores químicos como la oxidación y adsorción; en el caso de los **FWS**, permiten remover hasta un 90% de coliformes fecales cuando los tiempos de retención han sido prolongados o un porcentaje levemente inferior si el tiempo de retención ha sido corto (Vymazal *et al.*, 1998).

Estos sistemas, también han presentado una alta remoción de otros patógenos como protozoos y helmintos, por lo cual, su implantación ha sido de manera general para el tratamiento de aguas residuales de pequeños municipios o ciudades pequeñas; sin embargo las ventajas ambientales que generan, lo han convertido en un sistema que se ha distribuido por varias parte del mundo (Rivera *et al.*, 1995).

En general, el desempeño de los **FWS** puede estar influenciado por la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración, entre otras variables ambientales, sin embargo en Bogotá, estas variables no son un factor limitante, en cuanto a la remoción de patógenos y puede obtener valores de desempeño generales (tabla 6) muy importante para la salud humana y animal.

Parámetro	Promedio caudal de entrada (mg/L)	Promedio caudal de salida (mg/L)
DBO₅	70	15
SST	69	15
Nitrógeno (NH₃ - NH₄)	9	7
Nitrógeno (NO₃)	3	1
Nitrógeno total	12	4
Fosforo total	4	2
Coliformes fecales (#/100 mL)	73.000	1.320

Tabla 6: Desempeño de 27 sistemas de humedales de flujo libre superficial en Estados Unidos. Adaptado de: EPA (2000).

9.7. Operación y mantenimiento

En los FWS se presenta reproducción y descomposición de la biota, por lo tanto, es muy importante preparar el plan de operación y mantenimiento desde la fase de diseño, de tal forma que los impactos ocasionados por el material orgánico sobre las estructuras del sistema, no vayan a alterar la eficiencia y permitan monitorear el rendimiento del humedal (Montiel, 2014).

De esta manera, el conjunto de actividades durante esta etapa, se caracteriza principalmente por dos tipos, el primero hace referencia a la fase operativa, en el cual EPA (2000) describe los siguientes ítems que deben realizarse para mantener el funcionamiento correcto del humedal:

- Control de la profundidad del agua.
- Limpieza de las estructuras de entrada y descarga.
- Limpieza de las tuberías y/o canales.
- Control de la vegetación
- Control de malos olores
- Control de animales oportunistas (ratas)

La segunda parte hace referencia al conjunto de actividades experimentales, es decir, aquellas acciones que permiten monitorear los procesos físicos y químicos que ocurren en el humedal, a través de controles periódicos y sistemáticos de los siguientes parámetros (Silva & Zamora, 2005):

- Temperatura
- Oxígeno disuelto
- Conductividad
- pH
- DBO₅
- DQO
- SST

La mayoría de autores que se han descrito a lo largo de este capítulo, mencionan que la presencia insectos u otros animales pueden alterar el funcionamiento del humedal y tener un impacto negativo sobre la comunidad aledaña al proyecto, sin embargo, considero que estas recomendaciones se sustentan bajo aspectos netamente técnicos en el tratamiento de agua residual.

Por lo tanto, para la proyección de este documento el concepto de enfoque ecosistémico o integral, es el que se va a incorporar en los procesos de recuperación ecológica, de tal forma que ese “limitante” se puede convertir en una ventaja ecológica, debido a que estos animales se convierten en recursos y hacen parte de la alimentación de aves, ranas entre otros animales, de cadenas tróficas superiores.

9.8. Costos

Los FWS son el tipo de humedal que tiene más similitudes con los humedales naturales, esto le otorga ciertas ventajas económicas con respecto a los otros tipos de humedales, debido a que las estructuras que son requeridas para su construcción, disminuyen la necesidad de usar equipos mecánicos complejos o electricidad, así mismo, se incorporan fácilmente en el paisaje y su mantenimiento no provoca grandes gastos, ya que no requiere de personal altamente capacitado y el consumo de energía es nulo (Arenas & Nuncira, 2010).

Una de las características que estos sistemas tienen en un plano ideal, es que deben tener una superficie amplia, de manera que el tratamiento del caudal pueda ser descargado bajo las condiciones que la norma exige, por lo tanto, el costo del predio para este tipo de humedal suele ser mayor al de los humedales de flujo subsuperficial (EPA, 2000).

Es importante tener en cuenta lo anterior, debido a que gran parte de las áreas continuas a los humedales naturales de la ciudad de Bogotá, corresponden a predios privados, cuya característica de suelo urbano eleva los costos aún más; sin embargo los predios que hagan parte del Distrito podrían tener muchas más facilidades para los proyectos de recuperación ecológica que se quieran ejecutar a través de estos sistemas.

El presupuesto económico para construir este tipo de humedales puede variar según la carga orgánica que va a soportar o las ventajas ambientales que va a generar, no obstante, a continuación se van a describir los componentes

generales que se deben tener en cuenta en el momento de proyectar las inversiones económicas para este tipo de humedales (tabla 7).

Finalmente, se recomienda al lector apoyarse en las funciones y maquinaria que se requiere para cada una de las etapas de construcción descrita en el capítulo anterior, de manera que pueda discriminar de manera más fácil y coherente las actividades generales y su costo sea calculado de forma correcta.

Actividad	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo Total
Preparación del terreno:				
- Excavación		m ³		
- Compactación		m ³		
- Nivelación		m ³		
- Retiro de material de sobra		m ³		
Recubrimiento:				
- Geomembrana		m ²		
- Geotextil (opcional)		m ²		
- Instalación de jarillón		Unid.		
Redes de distribución:				
- Tuberías sanitarias		m		
- Tuberías lluvias		m		
- Uniones		Unid.		
- Adaptadores		Unid.		
- Cajas de distribución (arquetas)		Unid.		
Estructuras de entrada y salida:				
- Cámara de entrada		Unid.		
- Cámara de salida		Unid.		
Medio granular:				
- Grava (gruesa/fina)		m ³		
- Arena		m ³		
- Tierra negra		m ³		
- Material orgánico (cascarilla de arroz, viruta, aserrín, etc.)		m ³		
- Vegetación (especies)		Unid.		
- Nutrientes		L		
Costo de materiales				
Administración:				
- Costo del predio		m ²		
- Operación				
- Mantenimiento				
Costos administrativos				
COSTO TOTAL DEL PROYECTO				

Tabla 7: Esquema de un esquema presupuesto general para la construcción de un FWS. Adaptado de: Arenas y Nuncira (2010).

9.9. Impacto Ambiental

Las ventajas ambientales y de construcción que ofrecen los FWS se describieron anteriormente, siendo estos humedales los que más similitud presentan con un

humedal natural; no obstante, La implementación de estos humedales construidos durante la fase de construcción, va a generar un impacto negativo temporal, debido a la presión que ejerce el paso constante de las personas, la maquinaria y los materiales que se requieren para su construcción sobre la fauna del humedal natural.

En el caso de los FWS, el área que requieren para su operación, por lo general es amplia, de manera que el uso de la retroexcavadora es la mayor presión que se podría ejercer sobre el ecosistema, por lo tanto, es importante mencionar algunas actividades que podrían mitigar los impactos provocados por la construcción de estos sistemas:

- El excedente del material orgánico extraído puede ser retirado en carretillas, con el fin de evitar el ingreso de volquetas o vehículos de carga al humedal natural.
- Delimitar la zona de trabajo con mallas de polisombra, con el fin de evitar el arrastre de residuos de construcción a otros sectores del humedal natural.
- Usar un único sendero por donde se desplace el personal, la maquinaria y los materiales de construcción.
- Reforestar la ronda del humedal construido con especies nativas de arbustos que presenten un rápido crecimiento como el *Smallanthus pyramidalis* (arboloco).

Ahora bien, teniendo en cuenta los factores descritos sobre los humedales de flujo libre superficial a lo largo de este capítulo, se puede sugerir la oportunidad ambiental y económica que estos espacios podrían aportar a la recuperación de los humedales de la ciudad, valorando de manera integral las dimensiones que requiere, el impacto que podrían generar, la ventajas ambientales y los costos económicos, que se puedan implementar bajo una visión ecosistémica.

Las problemáticas principales que tienen los humedales de la ciudad es que de manera histórica han perdido su extensión, los remanentes se encuentran con un alto agrado de colmatación y eutrofización, producto de las descargas domesticas e industriales, las conexiones son erradas, indiferencia de la población, entre otros factores descritos en los capítulos cinco y seis

Por lo tanto, la idea de sugerir los **FWS** para proyectos de recuperación en humedales naturales, se sustenta bajo las ventajas ecológicas que estos aportan para superar dichas problemáticas, es decir, aportan un caudal de buena calidad, crean nichos ecológicos, son fuente de macroinvertebrados acuáticos, tienen presencia de insectos, ofrecen alimento y refugio para algunos animales pero principalmente aves, funcionan como zonas de paso, mejoran la conectividad, se incorporan fácilmente a los ecosistemas.

Estas ventajas no son generadas por los humedales de flujo subsuperficial que se van a describir en el siguiente capítulo, de tal forma que la construcción e implementación de estos humedales, son una excelente alternativa para recuperar varias funciones ecológicas, sin embargo no es, ni debe ser la única opción, debido a que muchos humedales de la ciudad no poseen un área adyacente de gran extensión para operar de manera ideal este tipo de sistema y las dinámicas ecológicas, sociales y económicas son diferentes en cada uno de los 15 humedales protegidos que tiene la ciudad.

CAPITULO 10: Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial

Los humedales construidos de flujo subsuperficial, se dividen en dos tipos y su diferencia radica exclusivamente en la dirección en la que se va a desplazar el fluido, dicho de otro manera, cuando el fluido se desplaza de manera horizontal por el material granular y radicular de las plantas, corresponde a un humedal de flujo horizontal subsuperficial (**HSF**) y cuando el fluido se desplaza en forma vertical es un humedal de flujo vertical subsuperficial (**VSF**), que si operan de manera combinada, pero en etapas diferentes, se los denomina híbridos (Arias & Brix, 2003).

A continuación se describen los aspectos más relevantes de los **HSF**, en cuanto su diseño, mecanismos de eliminación, operación, mantenimiento y costos, así como las ventajas que puedan ofrecer para la recuperación de los humedales naturales de Bogotá.

10.1. Generalidades

Los humedales de flujo superficial fueron los primeros sistemas en ser implementados a escala real en los proyectos pioneros de Europa y Norteamérica en la década de los 60 (Vymazal, 2008). Sin embargo, la presencia de insectos, ratas u otros animales y la disponibilidad del terreno, son atributos para que técnicamente no permitan obtener un rendimiento óptimo en el tratamiento de aguas residuales.

Por lo anterior, se empezaron a implementar sistemas de humedales cuyo afluente no tenía contacto con la superficie, limitando la presencia de animales y olores fuertes por procesos de descomposición de la materia orgánica; también, el caudal se desplaza de forma subterránea y la dirección del fluido que podía ser vertical, horizontal o combinada (Kadlec & Wallace, 2009).

Estos avances sentaron las bases técnicas para la construcción, operación y mantenimiento de los **HSF**, consolidando las diferencias fundamentales con respecto a los otros tipos de humedales.

En los **HSF**, el caudal circula de forma horizontal, a través del medio granular, los rizomas y la zona radicular de las macrófitas emergentes, aislando el fluido de la superficie por una lámina de protección; por lo general, la profundidad de estos humedales oscila entre 0.2 m - 1 m y se caracterizan por tener una pendiente leve, en donde el sistema se encuentra permanentemente inundado y el caudal fluye por debajo de la superficie (preferiblemente entre 0.05 - 0.1 m), manteniendo en lo posible condiciones hidráulicas de flujo laminar similar al que presentan los **FWS** (García & Corzo, 2008; Arias & Brix, 2003).

Los humedales de flujo subsuperficial horizontal (**HSF**), se han usado comúnmente para tratamiento secundario de aguas residuales en casas familiares o comunidades pequeñas (conjuntos residenciales, condominios, hoteles, etc.), debido a que no requiere un área extensa para su operación y los costos del terreno son inferiores a los **FWS**, no obstante, han operado de manera eficiente para el tratamiento de aguas residuales industriales (Wallace & Knight, 2006; Vymazal, 2008).

Los componentes generales de los **HSF** (figura 1), son la estructura de entrada del caudal (afluente), geomembrana del fondo y laterales, medio granular, vegetación emergente, estructura de salida (efluente) regulable para controlar el nivel del agua (Kadlec & Wallace, 2009). Estos elementos van a ser los responsables de crear las condiciones biológicas para que las plantas se consoliden y sus raíces desarrollen un medio de buena calidad que sustente la película microbiana que va a transformar o sedimentar los contaminantes del sistema (Fernández, 2001).

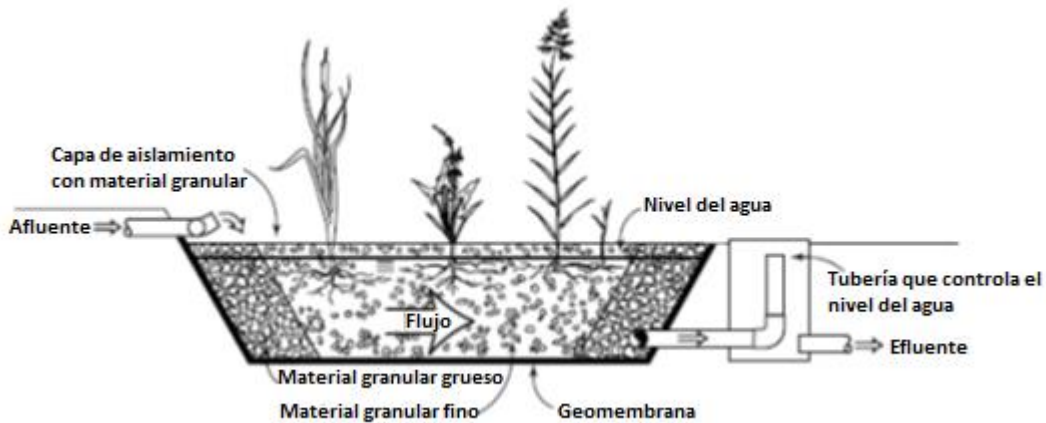


Figura 23: Esquema general de un humedal de flujo horizontal subsuperficial. Tomado de: Wallace & Knight (2006).

10.2. Diseño de un humedal de flujo horizontal subsuperficial

Este sistema compone la primera tipología de humedales con flujo subsuperficial y al igual que los **FWS**, el diseño de estos se realiza en dos etapas de proyección, la primera es la dimensión biológica, en la cual se establecen las características específicas de cada uno de los componentes y se determina la superficie del humedal; la segunda es la dimensión hidráulica, en la cual se determina las dimensiones del sistema y la carga contaminante que va soportar (García & Corzo, 2008).

10.3. Dimensión biológica

Las ecuaciones que se han obtenido para diseñar este tipo de humedales, suponen los mismos principios teóricos que se aplican en los **FWS**, es decir que

estos humedales se comportan como reactores de flujo ideal en pistón, en los cuales los contaminantes se degradan siguiendo modelos cinéticos de primer orden (Brix, 1994).

Los modelos matemáticos para dimensionar biológicamente e hidráulicamente los humedales de flujo subsuperficial, han sido descritos de manera detallada por Kadlec & Knight, (1996); EPA, (2000); García y Corzo (2008) y Kadlec & Wallace, (2009). A continuación, se describirán las ecuaciones que son usadas en los trabajos mencionados para diseñar correctamente este tipo de sistemas de humedales.

10.3.1. Balance de masa

El diseño de los **HFS** inicia con el balance de masa para los contaminantes del afluente, con el fin de determinar cuál es el contaminante que requiere más espacio y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = K_v C \quad (7)$$

Siendo **C** la concentración del contaminante en mg/L, **K_v** la constante cinética de primer orden en días⁻¹, debido a que la expresión negativa indica que la concentración de contaminante disminuye a lo largo del tiempo.

Al integrar esta ecuación con la concentración inicial (**C_o para t=0**) y la concentración final (**C_i para t=t**) se obtienen el tiempo medio de retención hidráulico en días a través de la siguiente ecuación:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{\varepsilon * S * h}{Q} \quad (8)$$

En donde:

V = volumen del humedal (m³)

Q = caudal medio (m³/d)

ε = porosidad

S = superficie del humedal (m²)

h = profundidad media (m)

Una vez conocido el tiempo medio de retención hidráulica (**t**), se sustituye en las siguientes dos ecuaciones y se define una nueva constante cinética de primer orden (**KA**) en m/d.

$$kA = kv * \varepsilon * h$$

(9a)

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp\left(-KA \frac{S}{Q}\right)$$

(9b)

A partir de estos datos, se despeja la superficie (**S**) de la anterior ecuación (9b) y se obtiene la siguiente ecuación de diseño, la cual es la más recomendada para dimensionar la superficie de humedales de flujo horizontal.

$$S = \frac{Q}{KA} \ln \left[\frac{C^0}{C^1} \right]$$

(10)

Los valores de (**Q**) y (**C₀**), se determinan a partir de los estudios de caracterización del afluente y el de (**C₁**) se define a partir de los límites permisibles del vertido establecidos por la normativa ambiental vigente.

Por otra parte, el valor de (**KA**) va a variar según el tipo de contaminante, de manera que es importante que para la construcción de estos humedales se consulten previamente los valores teóricos de esta variable en los textos citados anteriormente, con el fin de calcular adecuadamente este valor y se logre dimensionar correctamente el contaminante principal que va a depurar el sistema.

Finalmente, la literatura recomienda plantear diferentes escenarios en cuanto al volumen del caudal y las concentraciones de los contaminantes, de tal forma que se logre garantizar el rendimiento esperado de este tipo de humedales, en el cual se espera que el 95% de los contaminantes que están presentes a la entrada del sistema, se encuentren por debajo del límite del vertimiento (Bedoya *et al.*, 2014)

10.4. Dimensión hidráulica

Los datos obtenidos de la superficie del humedal, son usados para calcular la longitud y el ancho que va tener el sistema, de esta manera, la Ley de Darcy que

describe el régimen del flujo en un medio poroso, es la que debe ser aplicada mediante la siguiente ecuación:

$$Q = K_s * A_s * S \quad (11)$$

Siendo (**Q**) el caudal (m³/d), (**K_s**) la conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo (m³/m² · d), (**A_s**) es la sección del humedal perpendicular a la dirección del flujo (m²) y (**s**) es el gradiente hidráulico o pendiente (dh/dL) en m/m.

La conductividad hidráulica es un factor crítico en el diseño de este tipo de humedales, por lo tanto, el material granular que va a ser utilizado puede variar en función de cantidad y tamaño de los huecos de su superficie, así pues, las órdenes de magnitud de conductividad hidráulica (tabla 8), son una buena herramienta para seleccionar el sustrato más óptimo, permitiendo que los procesos físicos y químicos de depuración funcionen de manera indicada (Von Münch, 2009).

Tipo de Substrato	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica K _s (m ³ /m ² · d)
Arenas graduadas	2	28 – 32	100 – 1000
Arenas gravosas	8	30 – 35	500 – 5000
Gravas finas	16	35 - 38	1000 – 10.000
Gravas medianas	32	36 – 40	10.000 – 50.000
Piedras pequeñas	128	38 - 45	50.000 – 250.000

Tabla 8: Órdenes de magnitud de la conductividad hidráulica (**ks**) en función del material granular seleccionado para un humedal construido de flujo subsuperficial. Adaptado de: Reed et al, (1995).

10.4.1. Ancho del sistema

A partir de la ecuación (11), los mecanismos para determinar el ancho del humedal se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q_{medio}}{K_s * S} \quad (12)$$

En donde:

Q_{medio} = caudal medio (m³/d),

K_s = conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo (m³/m² · d)

s = gradiente hidráulico o pendiente (dh/dL) en m/m.

Posteriormente, se fija la profundidad del sistema (**h**) y se determina el ancho final que va tener el humedal mediante la siguiente ecuación:

$$W = \frac{As}{h}$$

(13)

En donde (**W**) es el ancho (m), (**As**) sección del humedal perpendicular a la dirección del flujo (m²) y (**h**) la altura (m).

10.4.2. Longitud el sistema

Una vez se ha calculado el ancho del humedal, teniendo en cuenta la superficie proyectada en la dimensión biológica, es posible calcular la longitud más adecuada que debe tener el sistema a través de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{S}{W}$$

(14)

L = longitud (m)

S = superficie (m)

W = ancho (m)

Finalmente, los valores de la pendiente (ecuación 12) que se suelen utilizar varían entre 0.01 a 0.02 m, por tal razón los autores recomiendan que la pendiente no sea superior a 0.02 m, con el fin de evitar que los costos de excavación sean elevados, así mismo se debe verificar que la relación largo - ancho sea mínimo de 1:1 y en los casos donde no se logre cumplir esta condición, se debe dividir la superficie total en diferentes celdas que interactúan entre si y cumplan con este criterio (García & Corzo, 2001).

10.5. Caudal del sistema

Estos sistemas requieren que el caudal que va a ingresar al sistema, provenga de una fase de pretratamiento, la cual permitirá eliminar las partículas de gran

tamaño (plástico, basura, papel, cartón) que puedan obstaculizar los canales y tuberías del humedal, así como disminuir la eficiencia de los procesos físicos y químicos que van ocurrir en la depuración del afluente (Peña *et al.*, 2003)

Von Münch (2009), describe varios sistemas de pretratamiento, definiendo sus características, su operación, mantenimiento y la forma de integrarlos al modelo convencional o ideal de un **HSF**, por lo tanto, es importante consultar esta fuente para seleccionar el pretratamiento que más se ajuste a las condiciones del terreno.

No obstante el modelo general que ha operado a lo largo de la historia es el mismo para los tipos de humedales subsuperficiales (figura 24) y se basa en un tanque séptico que realiza la fase de pretratamiento, un sistema de humedal subsuperficial (horizontal y/o vertical) que se encarga de la fase secundaria del tratamiento para finalmente incorporar el efluente a la red hídrica o en algunos casos a ecosistemas naturales (Vymazal *et al.*, 1998; Kadlec & Wallace, 2009).

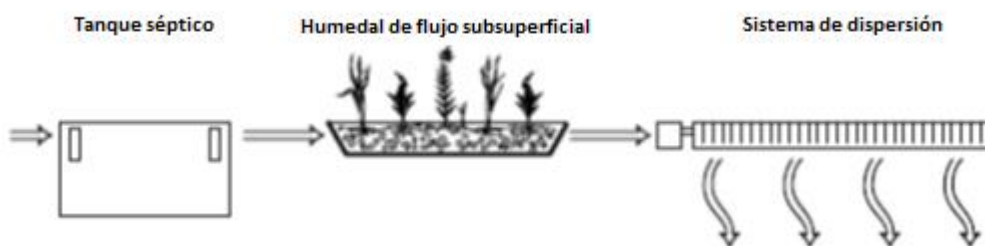


Figura 24: Modelo de aplicación convencional para humedales de flujo subsuperficial. Tomado de: Kadlec & Wallace (2009).

Por lo general, la zona de entrada al humedal es el área más vulnerable a la colmatación y obstrucción del caudal, de manera que se recomienda llenar esta zona con grava gruesa o piedras (figura 25), con el fin de garantizar que el afluente se distribuya por todo el sistema y evite la probabilidad de que el agua se desborde o forme charcos (Von Münch, 2009).



Figura 25: franja de material granular en la zona de entrada de un humedal subsuperficial. Tomado de: Von Münch (2009).

Los parámetros fisicoquímicos del caudal, han sido descritos en el capítulo ocho, por lo tanto, es importante remitirse a los lineamientos jurídicos que se describieron y los límites permisibles de las variables físicas y químicas que debe tener el vertimiento en el caso que vaya a ser descargado a la red pública de alcantarillado de Bogotá o sus humedales.

10.6. Mecanismos de eliminación

Los **HSF** presentan una alta eficiencia para remover sólidos suspendidos SST, metales pesados y bacterias patógenas pero tienen limitaciones para remover nitrógeno, debido a que las características anóxicas del medio no permiten la nitrificación, en cuanto al fósforo, su remoción depende de las características del material granular pero por lo general tiene niveles bajos (Peña *et al.*, 2003; Von Münch, 2009).

A través de la medición de los parámetros físicos y químicos, es posible determinar el desempeño que tiene el humedal, de manera que se puede conocer el comportamiento de los contaminantes que se buscan remover del caudal, con el fin de sugerir en qué situaciones es viable el uso de estos sistemas para la recuperación de los humedales naturales urbanos, teniendo en cuenta que las ventajas ambientales que ofrece son limitadas.

10.6.1. Materia en suspensión

Al igual que los **FWS**, los humedales de flujo horizontal subsuperficial alcanzan un alto porcentaje de remoción de SST, aproximadamente entre el 60 y 90%, debido en gran medida a la lenta velocidad del caudal y su desplazamiento horizontal, favoreciendo la descomposición de los sólidos en elementos orgánicos e inorgánicos que van a estar dispuestos para que las poblaciones microbianas del humedal puedan absorber, sedimentar o transformar estos componentes (Kadlec & Wallace, 2009; Peña *et al.*, 2003).

10.6.2. Materia orgánica

La mayor parte del humedal va a tener condiciones anaeróbicas, por lo tanto, una parte de las bacterias fermentativas facultativas que se encuentran en el lecho, originan ácidos grasos como el acético, alcoholes como el etanol y gases como el H₂, los cuales van a componer el sustrato del sistema para que bacterias sulfato reductoras transformen la materia orgánica (Von Münch, 2009)

Por otra parte, en ausencia de un medio sin oxígeno, las bacterias heterótrofas aeróbicas, van a ser las encargadas de degradar la materia orgánica mediante la desnitrificación, es decir, utilizando el nitrato como receptor de electrones, van a provocar un alta remoción de amoníaco (García & Corzo, 2003).

Finalmente, la **DBO₅** y **DQO** se reducen significativamente en los **HSF**, obteniendo un rendimiento que oscila entre el 75 y 95%, lo cual genera concentraciones de **DQO** menores a 60 mg/L y de **DBO₅** menor a 20 mg/L (Kadlec *et al.*, 2000).

10.6.3. Metales pesados

Los procesos de adsorción, precipitación, sedimentación, erosión y difusión, determinan la distribución de los metales pesados como el Cd, Pb, Zn, Cu, entre otros, los cuales van a ser oxidados por bacterias aeróbicas o bacterias anaeróbicas que precipitan óxidos de metales y sulfatos (Delgadillo *et al.*, 2010).

En el caso de los **HSF**, las zonas con alta concentración de oxígeno para que las bacterias aeróbicas se activen, son limitadas; no obstante, los modelos implementados para depurar descargas industriales con este tipo de humedales, ha mostrado, que a pesar del principio del factor limitante, las bacterias anaeróbicas y en menor cantidad las aeróbicas, presentan resultados aceptables en cuanto a la remoción de estos elementos traza en el sistema (Eger, 1994; Reed *et al.*, 1995; Estrada, 2010).

10.6.4. Nitrógeno

La mayor parte del nitrógeno que ingresa al humedal está presente en forma de amonio y va ser removido a través de los procesos de nitrificación en las zonas aeróbicas y de desnitrificación en las zonas anaeróbicas, tal y como se describió en el capítulo ocho (figura 22).

En los **HSF** la transferencia de oxígeno es baja y hay pocas zonas aeróbicas, por lo tanto la nitrificación no es destacable y el rendimiento de eliminación del amonio no supera generalmente el 30% (Kadlec *et al.*, 2000). Sin embargo, la remoción del nitrato formado por bacterias aeróbicas en las pocas zonas con buenos niveles de oxígeno, se realiza a través de la desnitrificación, la cual si puede ocurrir en la mayor parte del sistema bajo condiciones anóxicas, en presencia de materia orgánica y con ayuda de bacterias heterótrofas (García & Corzo, 2003).

Por último, las macrófitas pueden asimilar una parte muy pequeña de nitratos, al igual que la película microbiana de sus sistema radicular, no obstante, el material vegetal en descomposición junto a la vegetación en etapa de floración, son vías para que el nitrógeno ingrese nuevamente al sistema, de tal forma que se recomienda cortar la vegetación en el momento de su floración y controlar el exceso de material vegetativo en el sistema (Delgadillo *et al.*, 2010).

10.6.5. Fosforo

Este elemento es el más difícil de remover en los sistemas subsuperficiales, debido a que el material granular con el cual son construidos, usualmente no

contiene grandes cantidades de Fe, Al o Ca que facilitan los procesos de precipitación y absorción (Vymazal, 2008). Adicionalmente, el consumo de fósforo por la vegetación puede ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción, de manera que el porcentaje de remoción, para el fosforo total, se reportan valores entre 30 y 40% en sistemas evaluados (Brown, 1994; Reed *et al.*, 1995).

En los **HSF** se ha tratado de mejorar la capacidad de remover el fosforo mediante la selección de un material granular con alta capacidad de retención para este elemento, sin embargo, estos elementos elevan los costos de inversión y en poco tiempo la capacidad de retención se va a perder, por lo tanto, las estrategias con mayor éxito para remover este elemento consiste en la adición de sales de aluminio, hierro o cal al substrato del sistema (Arias & Brix, 2005)

10.6.6. Bacterias y/o Patógenos

Los **HSF** han sido diseñados de manera general para tratamientos de agua residuales domesticas o de comunidades pequeñas, de manera que las bacterias o virus que ingresan al sistema representan un alto riesgo para la salud pública; por tal razón, el control de olores y vectores de enfermedades, así como la remoción de estos microorganismos y partículas virales en el afluente, han sido un tema primordial para optar por estos humedales, debido a que presentan valores de remoción del 60% en los 3 primeros meses y una vez se ha estabilizado (aproximadamente 6 meses) el sistema puede alcanzar valores de 85 y 90% (Lara & Vera 2005; Wallace & Knight 2006; Delgadillo *et al.*, 2010).

Generalmente, la remoción de bacterias patógenas en el efluente es mayor al 90% y la de huevos de helmintos varía entre el 95 y 99% en sistemas que ya se han estabilizado (Reed *et al.*, 1995). A raíz de estos rendimientos, en la actualidad los humedales de flujo horizontal (superficial – subsuperficial) son reconocidos en varias partes del mundo como sistemas de tratamiento sostenibles con una alta capacidad para la depuración de microorganismos peligrosos (Vymazal & kropfelová, 2008).

10.7. Operación y mantenimiento

Los humedales subsuperficiales (horizontal - vertical) son sistemas que tienen una dinámica de reproducción y muerte de la biota al igual que los humedales superficiales, por tal motivo, es necesario realizar un plan de operación desde la fase de diseño, el cual abarque los diferentes escenarios que puedan ocurrir en los procesos de depuración, así como las mejores alternativas o actividades que se deban desarrollar, con el fin de obtener buenos resultados de rendimiento.

El grupo de actividades que se deben ejecutar para operar un humedal subsuperficial no varía mucho en cuanto a la de los **FWS** (capitulo 10), sin

embargo, al ser un sistema que se encuentra aislado de la superficie, en ocasiones necesita electricidad y por lo general su tamaño no es de gran magnitud, existen algunas recomendaciones que se deben tener cuenta y que son sintetizadas por Von Münch (2009):

- Comprobar periódicamente la eficiencia de las unidades de pretratamiento.
- Revisar las instalaciones eléctricas (si da lugar).
- Comprobar periódicamente las motobombas.
- Evitar encharcamientos en cualquier zona del sistema.
- Evitar exceso de cargas contaminantes en el afluente.
- Control de insectos.

La mayoría de autores que han desarrollado estos sistemas de humedales, no promueven su implementación para efectos ambientales sino se centran en la depuración del caudal que puede provenir de diferentes actividades domésticas e industriales.

Como se describió anteriormente, estos humedales obtienen buenos resultados en la depuración de **SST**, **DBO₅**, **DQO**, patógenos y metales pesados, por lo tanto, podrían ser operados en los humedales de Bogotá cuyo entorno sean plazas de mercado, centros comerciales o plantas procesadoras de animales, debido a que el área que requieren es pequeña, la carga contaminante del afluente se ajusta a los rendimientos de los **HSF** y su función sería exclusivamente el tratamiento de agua residual que finalmente se podría descargar a la red hídrica o humedales de la ciudad bajo las condiciones que la norma exige.

10.8. Costos

Los costos de un humedal de flujo subsuperficial son menores a los de un **FWS**, en cuanto al terreno, número de plantas y geomembrana (terreno pequeño) pero más costosos en cuanto al material granular, maquinaria de bombeo y mantenimiento, por tal motivo, los costos de este sistema pueden ser superiores a un sistema superficial que tenga su misma área (Reed *et al.*, 1995).

Adicionalmente, no brindan ventajas ambientales directas que si ofrecen los sistemas de flujo superficial, por lo tanto, es importante tener en cuenta esta característica si se quiere operar un humedal de este tipo. No obstante, en Colombia, trabajos como los de Mena (2014), Espinosa (2014) y Bedoya *et al.* (2014), muestran que este tipo de humedales son una excelente alternativa para el tratamiento de aguas residuales de supermercados, casas familiares, conjuntos residenciales, universidades o colegios.

Ahora bien, el presupuesto económico para construir humedales subsuperficiales (horizontal / vertical) puede variar según la carga orgánica que

va a soportar, la infraestructura, la calidad del material granular y el mantenimiento. A continuación se van a describir los componentes generales que se deben tener en cuenta en el momento de proyectar las inversiones económicas para este tipo de humedales (tabla 9).

Actividad	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo Total
Tanque sedimentador: <ul style="list-style-type: none"> - Movimiento de tierra - Concreto - Acero - Estructuras de entrada y salida 		m ² Kg m Unid.		
Preparación del terreno: <ul style="list-style-type: none"> - Evaluación del sitio (Topografía y Geotecnia) - Excavación - Compactación - Nivelación 		m ² m ² m ² m ²		
Recubrimiento: <ul style="list-style-type: none"> - Geomembrana 		m ²		
Redes de distribución: <ul style="list-style-type: none"> - Tuberías sanitarias - Tuberías lluvias - Uniones - Adaptadores - Cajas de distribución (arquetas) - Motobomba - red eléctrica 		m m Unid. Unid. Unid. Unid. m		
Estructuras de entrada y salida: <ul style="list-style-type: none"> - Cámara de entrada - Cámara de salida 		Unid. Unid.		
Medio granular: <ul style="list-style-type: none"> - Grava (gruesa/fina) - Arena - Tierra negra - Material orgánico (cascarilla de arroz, viruta, aserrín, etc.) - Vegetación (especies) - Sales de Fe, Al - Cal 		m ³ m ³ m ³ Kg Unid. L Kg		
Costo de materiales				
Administración: <ul style="list-style-type: none"> - Costo del predio - Operación - Mantenimiento 		m ²		
Costos administrativos				
COSTO TOTAL DEL PROYECTO				

Tabla 9: Esquema general de un presupuesto para la construcción y operación de un humedal de flujo subsuperficial con un tanque sedimentador como pretratamiento. Adaptado de: Arenas y Nuncira. (2010) y Espinosa (2014).

Se recomienda al lector apoyarse en las funciones y maquinaria que se requiere para cada una de las etapas de construcción descrita en el capítulo ocho, de esta manera se podrá discriminar coherentemente las actividades generales y su costo será calculado de forma más acertada, así mismo se debe tener claro que en la proyección del presupuesto, el valor del tipo de pretratamiento que se use va ser diferente.

En síntesis, los **HFS** fueron diseñados desde una visión netamente técnica bajo el principio de contar con un sistema de humedal que ocupe un área pequeña, cuyo desempeño de remoción en **SST**, metales pesados, patógenos y bacterias les permita incorporar el agua residual tratada, operando sin la presencia de insectos, roedores, limitando la presencia de aves y la luz solar.

Las características, antes mencionadas, moldearon la visión de un sistema de tratamiento de aguas residuales alternativo, cuya finalidad no es generar ventajas ambientales de manera directa, sino alternativas sostenibles para tratar dichas descargas, maximizando el espacio de operación, obteniendo buenos desempeños de remoción y mitigando los riesgos de salud pública.

10.9. Impacto Ambiental de los Humedales de Flujo Subsuperficial

Las ventajas de construcción que ofrecen los humedales con flujo subsuperficial (**HSF – VSF**), es decir, el área de operación que requiere para su operación es pequeña; es un aspecto positivo para implementar estos sistemas en los humedales naturales de Bogotá, ya que el impacto que genera la maquinaria pesada sobre el ecosistema es muy leve y el ruido que genera el sistema de bombeo es periódico.

No obstante, es importante mencionar algunas actividades que podrían mitigar los impactos que causan la construcción de humedales con flujo subsuperficial:

- El excedente del material orgánico extraído puede ser retirado en carretillas, con el fin de evitar el ingreso de volquetas o vehículos de carga al humedal natural.
- Delimitar la zona de trabajo con mallas de polisombra, con el fin de evitar el arrastre de residuos de construcción a otros sectores del humedal natural.
- Usar equipos de bombeo que se encuentren en buen estado, con el fin de evitar niveles de ruido altos.

11. Humedales Construidos de Flujo Vertical Subsuperficial

Estos sistemas fueron diseñados para operar bajo las características técnicas típicas de los humedales subsuperficiales (espacio limitado – salud pública), sin embargo, la alternativa o creación de los humedales de flujo vertical subsuperficial (**VSF**), radicó en la necesidad de optimizar los procesos de remoción, en especial del nitrógeno, el cual es uno de los elementos con mayor dificultad para remover en todos los humedales construidos.

A continuación, se describen los aspectos más relevantes de los **VSF**, su diseño, sus mecanismos de eliminación, su operación, el mantenimiento y sus costos, de manera que esta información sirva como base para sugerir o destacar las ventajas que podrían ofrecer estos sistemas para la recuperación de los humedales urbanos.

11.1. Generalidades

Los sistemas verticales fueron desarrollados a finales de los años 60 por la Dr. Kathe Seidel como una respuesta a los bajos niveles de oxígeno que presentaban los humedales de flujo horizontal, por lo tanto, se diseñó un modelo hidráulico que elevara los niveles de oxígeno en el medio acuático, permitiendo que los procesos de nitrificación ocurrieran en mayor proporción y se obtuviera un caudal de mejor calidad (Kadlec & Wallace, 2009; Cooper, 2005b).

La literatura reportó valores de remoción de nitrógeno entre el 80% y 90% para este tipo de humedales, manteniendo las características del fluido subsuperficial, es decir, no tener contacto con la superficie, limitar la presencia de animales y restringir los olores fuertes provocados por los procesos de descomposición de la materia orgánica (Fuchs, 2009)

Estos avances sentaron las bases técnicas para la construcción, operación y mantenimiento de los **VSF**, consolidando las siguientes diferencias con respecto a los sistemas de flujo horizontal:

1. El afluente es bombeado hasta la tubería superficial, luego por acción de la gravedad es percolado a través del material granular hasta la parte inferior del sistema, en donde el efluente es evacuado mediante un sistema de drenaje (Kadlec & Wallace, 2009).
2. Todo el sistema de distribución y recogida consiste en una red de tuberías con disposición lineal o circular (figura 26), cuyo objetivo es distribuir el caudal homogéneamente sobre toda la superficie del sistema (García & Corzo, 2008)
3. La descarga del caudal se realiza en intervalos intermitentes (4 – 6 veces/día) y no permanentes, así como largos periodos de descanso, en

los cuales, las aguas residuales se filtran a través del material granular insaturado, atravesando una superficie seca y aireada, lo cual, mejora la transferencia de oxígeno en el sistema y aumenta la actividad microbiana de degradación aeróbica (Platzer, 1999).

4. Un **VSF** con un área igual al de un sistema horizontal, presenta rendimientos muy parecidos en cuanto a la remoción de SST, DBO₅ y DQO pero la remoción de nitrógeno es superior, adicionalmente, el área que requiere para su implementación puede ser menor a la de un **HSF** y reportar valores de remoción altos (Kadlec *et al.*, 2000; Cooper, 2005).



Figura 26: humedal de flujo vertical subsuperficial durante la fase de bombeo. Tomado de: Hoffman, (2006).

Estas características, junto a la capacidad de oxidar fácilmente el amonio, han marcado una gran ventaja para estos humedales en los últimos 20 años, principalmente en el tratamiento de aguas residuales domésticas, aguas residuales grises, lixiviados del procesamiento de alimentos y animales, siendo ampliamente usados en varias ciudades de Europa, Norteamérica y algunos países de Suramérica entre los que se encuentra Colombia (Kadlec & Wallace, 2009).

Es importante resaltar que al igual que los **HSF**, los humedales verticales fueron desarrollados bajo una perspectiva tecnológica sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales y no con el fin de generar ventajas ambientales directas, por lo tanto, si la finalidad del proyecto es generar algún tipo de ventaja ecológica, se debe tener en cuenta que esta reduce al aporte de un caudal de buena calidad.

11.2. Diseño de un Humedal de Flujo Vertical Subsuperficial

Estos sistemas se diseñan de igual manera que los **HSF**, es decir, se realiza en dos etapas de proyección, la primera consiste en la dimensión biológica, en la cual se establecen las características específicas de cada uno de los

componentes y se determina la superficie del humedal; la segunda es la dimensión hidráulica, en la cual se determina las dimensiones del sistema y la carga contaminante que va soportar (García & Corzo, 2008).

El interesado en este tipo de humedales debe usar los cálculos matemáticos que se describieron para el diseño biológico e hidráulico de un humedal subsuperficial horizontal, debido a que las proyecciones matemáticas que son usadas para diseñar los sistemas verticales son las mismas.

Es importante tener en cuenta que el material granular en los sistemas verticales puede presentar grandes riesgos de colmatación, debido a un exceso de carga contaminante, mala distribución del caudal o poco desarrollo radicular de la vegetación, lo que se verá reflejado en una baja aireación del sustrato y por ende bajos niveles de remoción o una falla general del sistema (Von Münch, 2009).

Por último, los componentes de un sistema vertical (figura 27) no varían mucho en a un **HSF**, sin embargo, se debe resaltar que en los humedales de flujo vertical, la electricidad es un elemento completamente necesario para controlar el bombeo, descarga, distribución y recogida del caudal, debido a que las dinámicas intermitentes con las que funciona este tipo de sistema requiere de un mayor control y monitoreo que los humedales horizontales (Vymazal, 2008).

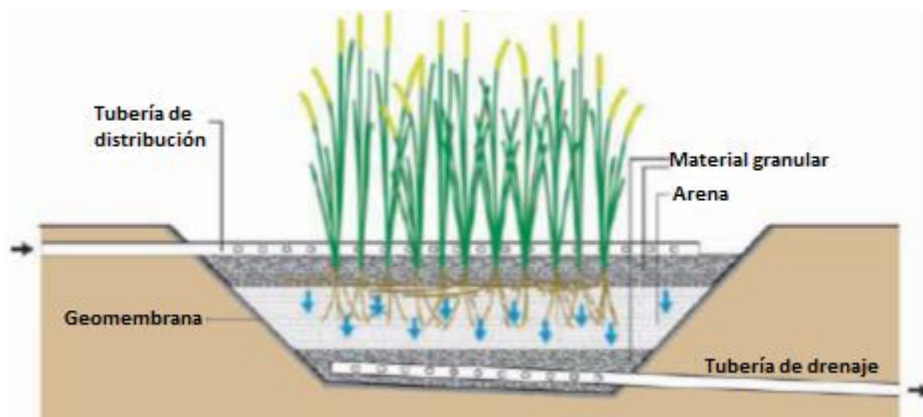


Figura 27: Esquema general de un humedal de flujo vertical subsuperficial. Tomado de: Morel & Diener, (2006).

11.3. Caudal del sistema

Los parámetros físicos y químicos del caudal con el que teóricamente operan los humedales verticales no difieren al de un **HSF**, no obstante, la literatura reporta un desempeño igual o superior para un humedal vertical en cuanto a la depuración de materia orgánica, patógenos y nitrógeno; esto se debe en gran parte a las características oxidadas que provoca un flujo vertical, las cuales permiten obtener caudales con un mayor porcentaje de remoción de elementos orgánicos e inorgánicos (Cooper, 2005b).

También, los sistemas verticales requieren que el caudal que va a ingresar al sistema haya pasado por una fase de pretratamiento (trampas de grasas, tanque séptico, filtro compost, tanque Imhoff, entre otros), la cual permitirá eliminar las partículas de gran tamaño (plástico, basura, papel, cartón) que puedan obstaculizar los canales y tuberías del humedal, así como disminuir la eficiencia de los procesos de remoción que van ocurrir en el sistema (Kadlec & Wallace, 2009; Peña *et al.*, 2003)

Se recomienda al lector consultar las alternativas de pretratamiento que se encuentran en Von Münch (2009) o Kadlec y Wallace (2009), en los cuales se definen las características, su operación, el mantenimiento y la manera más recomendable de integrar estos tipos de pretratamiento al modelo convencional de los humedales de flujo subsuperficial (figura 24), teniendo en cuenta las condiciones físicas del terreno.

Finalmente, Los parámetros fisicoquímicos del caudal, han sido descritos en el capítulo ocho, por lo tanto, el lector debe remitirse a los lineamientos jurídicos que se describieron y los límites permisibles de las variables físicas y químicas que debe tener el vertimiento en el caso que vaya a ser descargado a la red pública de alcantarillado de Bogotá o sus humedales.

11.4. Mecanismos de Eliminación

Los **VSF** presentan una alta eficiencia para remover sólidos en suspensión, materia orgánica, patógenos y nitrógeno pero al igual que los horizontales (tabla 10), la remoción del fósforo depende de las características del material granular, pero por lo general presenta niveles bajos de remoción, debido a que los periodos de retención no son lo suficientemente largos para que el fósforo se adsorbido por el material granular y/o transformado en otros componentes por procesos químicos y biológicos que realiza la película microbiana del sustrato (Peña *et al.*, 2003; Cooper, 2005).

Los parámetros físicos y químicos (SST, DBO₅, DQO, nitrógeno, fósforo, bacterias y patógenos) han servido como mecanismo de control para conocer el desempeño que tiene el humedal, de manera que a continuación se describirán los aspectos más relevantes en la remoción de **SST**, nitrógeno, fósforo y patógenos en los humedales verticales, con el fin de conocer las alternativas que estos sistemas puedan generar en la recuperación de los humedales naturales urbanos.

11.4.1. Materia en suspensión

En los sistemas verticales, la retención de los sólidos suspendidos ocurre en los primeros centímetros del medio granular y su concentración disminuye a medida que atraviesa el sustrato, de forma similar a como ocurre en los sistemas

horizontales pero en sentido vertical, logrando valores de remoción entre el 65% y 85%, siendo fundamental la fase de pretratamiento para obtener este rendimiento (García & Corzo, 2003; Morel & Diener, 2006).

11.4.2. Materia orgánica

Los sólidos suspendidos por procesos de sedimentación, absorción, adsorción entre otros, dan como resultado un material orgánico particulado, el cual es filtrado por la capa superficial de material granular que poseen los sistemas verticales y es degradado a través de bacterias heterótrofas aeróbicas, obteniendo un rendimiento que oscila entre el 70 y 90% (tabla 10), lo cual se traduce en concentraciones de **DQO** menores a 60 mg/L y de **DBO₅** menor a 20 mg/L (Kadlec *et al.*, 2000).

11.4.3. Nitrógeno

La principal diferencia que presentan los sistemas verticales con respecto a los humedales horizontales (superficiales – subsuperficiales) en cuanto al desempeño de remoción, es la capacidad de nitrificación que tiene los **VSF**, es decir, la transformación del amonio en nitrato, obteniendo valores superiores al 90%, no obstante, los procesos de desnitrificación son escasos, ósea la conversión de nitrato a nitrógeno gaseoso, debido a la falta de un medio anóxico (Fuchs, 2009; Vymazal, 2008)

Por lo tanto, los modelos de **VSF** que se han aplicado con el fin de obtener buenos valores de desnitrificación, han sido mediante sistemas verticales intercalados con y sin vegetación o incorporando el efluente a un humedal de flujo horizontal, en donde las características anóxicas favorecen la desnitrificación y permiten completar la remoción total del nitrógeno a través de dos tipos de humedales artificiales (Kadlec & Wallace, 2009).

11.4.4. Fosforo

La remoción de este elemento ocurre si el medio granular contiene alto contenido de Ca, Al o Fe, los cuales retienen el fosforo y lo sedimentan en el lecho del sistema, sin embargo, el material granular de los humedales construidos, por lo general no contiene estos elementos, por lo tanto las tasas de remoción que ha reportado la literatura para los sistemas verticales no excede el 35% (Morel & Diener, 2006)

No obstante, si el presupuesto y la disponibilidad del espacio lo permite, estos sistemas pueden obtener hasta un 70% de remoción, si se adicionan sales de aluminio, hierro, cal o si el sustrato seleccionado presenta altos contenidos de estos elementos (Gross *et al.*, 2006).

11.4.5. Metales pesados

Al igual que en los humedales de flujo horizontal, los humedales construidos de flujo vertical, realizan la función de oxidar metales pesados como el Cd, Pb, Zn, Cu, entre otros, transformándolos en óxidos de metales y sulfatos a través de procesos de adsorción, sedimentación, erosión y difusión (Delgadillo *et al.*, 2010).

Comúnmente estos humedales no se han usado para el tratamiento de descargas industriales como los **HSF**, sin embargo, la alta capacidad que presenta su medio aeróbico para oxidar metales pesados, podría ser una ventaja para tratar estos elementos traza y obtener una remoción igual o superior al de los sistemas horizontales pero en un área más pequeña.

11.4.6. Bacterias y Patógenos

Los humedales verticales han sido diseñados de manera general para tratamientos de agua residuales domesticas (casas, apartamentos, restaurantes, entre otros), por lo cual, las bacterias o virus que ingresan al sistema representan un alto riesgo para la salud pública.

La depuración de estos microorganismos y partículas virales fue un tema analizado vigorosamente en los modelos experimentales hasta ser implementado a escala real, principalmente en países de Europa y algunas ciudades de Estados Unidos, obteniendo una reducción de coliformes fecales superior al 90% (Vymazal, 2007; Garcia *et al.*, 1999). Adicionalmente Reed *et al.* (1995) muestra que la remoción de otras bacterias patógenas y huevos helmintos en sistemas verticales pueden obtener porcentajes similares a los de un HSF (90% - 95%) en sistemas que ya se han estabilizado.

Parámetro	HSF		VFS	
	(% de depuración)		(% de depuración)	
DBO ₅	75 (a)	80 – 90 (b)	73 (a)	75 – 95 (b)
DQO	77 (a)	70 – 80 (b)	75 (a)	70 – 80 (b)
SST	77 (a)	80 – 95 (b)	61 (a)	65 – 85 (b)
Nitrógeno	42.3 (a)	15 – 40 (b)	44.6 (a)	60 (b)
Fosforo	41.1 (a)	30 – 45 (b)	59.4 (a)	35 (b)

Tabla 10: Desempeño de los humedales de flujo subsuperficial. (a). Vymazal, 2007. (b). Morel & Diener, 2006.

11.5. Operación y mantenimiento

El grupo de actividades que se deben realizar para operar un **VSF** son prácticamente las mismas que se describieron anteriormente para un sistema horizontal (superficial – subsuperficial), no obstante, la dirección vertical del caudal, la intermitencia en las descargas y el uso periódico de electricidad requieren un control y mantenimiento mucho más complejo que los otros tipos de humedales (Wallace & Knight, 2006)

Bajo estas características, von Münch (2009) define las principales recomendaciones para que la operación y mantenimiento en un sistema vertical permita tener un rendimiento óptimo:

- Las tuberías de distribución deben estar cubiertas con grava para evitar la acumulación de agua durante los períodos de bombeo.
- Comprobar periódicamente el sistema eléctrico.
- La profundidad en los lechos del filtro de arena debe ser por lo menos de 50 cm (sin contar los 20 cm de grava en el fondo), 15 cm de grava en la parte superior y 15 cm de borde libre para la acumulación de agua.
- En forma ideal deben operar al menos 4 lechos independientes, con el fin de dar descanso a cada uno (seis semanas en funcionamiento y dos semanas de descanso).

11.6. Costos

El presupuesto económico para construir un humedal vertical subsuperficial puede variar según la carga orgánica que va a soportar, la infraestructura, la calidad del material granular y el mantenimiento, por lo tanto, el lector debe remitirse a las variables que fueron incluidas en los costos proyectados para un sistema horizontal subsuperficial (tabla 9).

Es importante tener en cuenta que si bien los **VFS** requieren menos área para su operación que un sistema horizontal de flujo subsuperficial, los costos de su red eléctrica, la operación y su mantenimiento son superiores (Wallace & Knight, 2006). Así pues, los sistemas verticales presentan buenos rendimientos de depuración pero por lo general sus costos son los más elevados entre los tipos de humedales que se han descrito en este documento.

En síntesis, los humedales verticales fueron diseñados para operar bajo las mismas características de un **HSF** pero con la ventaja de remover en mayor proporción el nitrógeno que se encuentra contenido en el caudal.

Los humedales verticales se convirtieron en una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas y agropecuarias, cuya finalidad no era generar ventajas ambientales de manera directa, es decir, no crear nichos ecológicos, no favorecer la conectividad, limitar la presencia de animales, entre otras, sino enfocarse en las ventajas técnicas que permite en un área pequeña tratar de manera sostenible las descargas y mitigar los riesgos de salud pública.

Los humedales subsuperficiales (verticales – horizontales) podrían ayudar de manera indirecta a mejorar el caudal que ingresa a los humedales naturales por las siguientes razones:

1. El hecho de que estos sistemas presenten buenos desempeños a pesar de operar en un área pequeña, los convierte en una buena alternativa para promover su implementación en colegios, universidades, plazas de mercado, centros comerciales, restaurantes, entre otras actividades domésticas o comerciales que tengan un área limitada para tratar de manera adecuada las aguas residuales que producen.
2. Podrían tratar una parte del caudal que proviene de la red hídrica de la ciudad e incorporar el caudal tratado al humedal natural para mejorar la calidad hídrica del espejo de agua y contrarrestar la alta eutrofización que presentan la mayoría de humedales urbanos.
3. El flujo subsuperficial (aislado de la superficie) permite que no se produzcan malos olores y la presencia de insectos sea limitada, siendo aptos para su operación en zonas con alto flujo de personas (Colegios, Universidades, centros comerciales, etc.).

11.7. Humedales híbridos

Los humedales híbridos no son propiamente un tipo de humedal construido sino que hacen parte de un sistema de humedales combinados, en el cual, inicialmente el afluente ingresa a un humedal de flujo vertical, obteniendo buenos niveles de oxígeno para que pueda ocurrir la nitrificación, luego, el efluente se distribuye sobre humedales horizontales (subsuperficial – superficiales), en los cuales, la remoción de fósforo aumenta, se logra la desnitrificación (medio anóxico) y tanto los SST como los metales pesados reportan valores de remoción superiores al 90% (Vymazal, 2007)

La combinación de humedales construidos puede variar e incluye otras fases de tratamiento como lagunas de estabilización en diferentes configuraciones siendo una de las alternativas más usadas para el tratamiento primario y secundario de aguas residuales en comunidades pequeñas de algunos países de Europa (von Münch, 2009). Sin embargo, este sistema se ha diseñado exclusivamente para el tratamiento de aguas residuales, por lo tanto en la literatura no se han

reportado experiencias que generen oportunidades de recuperación ecológica para los ecosistemas (Cooper, 2005b).

En los capítulos 9 y 10 se describen los aspectos que se deben tener en cuenta para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los humedales superficiales y subsuperficiales, por tal razón, el lector interesado debe remitirse a estos contenidos y bajo los criterios de rendimiento, espacio disponible, carga orgánica en el caudal, presupuesto y ventajas ambientales, se debe analizar la alternativa de combinar estos sistemas para recuperar funciones ecológicas de los humedales naturales.

Cada tipo de humedal, presenta unas ventajas y desventajas para ser usado como una alternativa en la recuperación ecológica de humedales naturales (tabla 11), siendo los humedales de flujo superficial, los sistemas con mayor potencial para recuperar funciones ecológicas de estos ecosistemas.

Aspecto	Flujo superficial	Flujo subsuperficial
Uso general	Tratamiento secundario y/o terciario	Tratamiento primario
Operación	baja carga orgánica	Alta carga orgánica
Olor	Si hay	No existe
Insectos	Si hay	No existe
Protección térmica	Mala, bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, el flujo subterráneo mantiene una temperatura casi constante
Área	Requiere mayor superficie	Requieren menor superficie
Costo	Menor costo	Mayor costo
Ventajas ecológicas	Crean nichos Mejoran la conectividad Zonas de forrajeo Favorecen la presencia de aves y mamíferos pequeños Generan un caudal de buena calidad	Generan un caudal de buena calidad

Tabla 11: diferencias entre los tipos de humedales construidos. Adaptado de: Delgadillo *et al.*, (2010).

No obstante, la heterogeneidad que presenta el entorno de los humedales de Bogotá, debe ser un aspecto fundamental en el momento de sugerir la implementación de humedales construidos, debido a que la disponibilidad de espacio y los conflictos socioeconómicos que estos ecosistemas presentan, en algunos casos no podrían adaptarse a las dimensiones de un sistema superficial, por lo tanto, las desventajas que suponen los sistemas subsuperficiales en relación con las ventajas ambientales, podrían ser usadas a favor de la recuperación de un caudal.

CAPITULO 11: Estado general de los Humedales de Bogotá y la proyección de los Humedales Construidos

12. Propuesta de la Monografía

12.1. Introducción

Los motivos de la desaparición y degradación de los humedales de Bogotá a lo largo de su historia, fueron descritos de manera detallada en los capítulos IV y V, así como las iniciativas institucionales, comunitarias y científicas para proteger estos ecosistemas, relatados en el capítulo VI. Como resultado, se pudo observar que las dinámicas actuales en torno a los aspectos naturales y sociales de estos ecosistemas, presentan una serie de presiones antrópicas en común, como por ejemplo, la urbanización, la fragmentación y, las descargas residuales sin tratamiento previo, y por ende su problemática ambiental varía en función de la localización específica del entorno.

En razón de lo anterior, la propuesta de sugerir humedales construidos para ayudar a la recuperación ecológica de los humedales naturales, no solo está sujeta a los diseños técnicos que se describieron en los capítulos anteriores (carga contaminante del afluente), sino también va tener en cuenta los aspectos naturales y sociales de cada entorno (tabla 12).

Entorno del humedal	
Natural	<ul style="list-style-type: none">- Río, quebrada- Bosque, matorral
Social	<ul style="list-style-type: none">- Vías, puentes- Edificios, casas, conjuntos residenciales, fabricas- Bodegas, plazas de mercado y centros comerciales- Canales de distribución hídrica

Tabla 12: variables consideradas como el entorno de los humedales naturales de Bogotá D.C.

12.2. Metodología de la propuesta

A partir de los planes de manejo Ambiental (**PMA**) y otras fuentes secundarias, en este capítulo se describe de forma general el entorno y estado ecológico de los quince humedales de Bogotá. Posteriormente, estos aspectos se van a relacionar con las problemáticas ambientales, de manera que esta información sirva como guía para integrarla a las alternativas técnicas y ecológicas que

brindan los humedales construidos, con el fin de analizar y sugerir el tipo de humedal más apropiado para ayudar en la recuperación ecológica de los humedales capitalinos.

En la actualidad, doce de los quince humedales que hacen parte de la Estructura Ecológica Principal de la ciudad, tienen un **PMA**, avalado mediante un acto jurídico, siendo los humedales El Salitre, La Isla y El Tunjo, los únicos que a la fecha no han sido aprobados o diseñados sus planes de manejo ambiental (tabla 13). No obstante, la Secretaria Distrital de Ambiente, así como fundaciones privadas, comunitarias y académicas, han realizado descripciones acerca de las condiciones ambientales, las cuales van a ser tenidas en cuenta para la propuesta.

Humedal	Resolución de aprobación PMA
La vaca	Resolución 7473 del 30 de octubre de 2009 de la SDA
El Burro	Resolución 4383 del 30 de octubre de 2008 de la SDA
Techo	Resolución 4573 del 22 de junio de 2009 y Resolución 6469 del 22 de septiembre de 2009 de la SDA
Tibanica	Resolución 334 del 28 de febrero de 2007 de la SDA
La Isla	Sin aprobar
Capellanía	Resolución 7474 del 30 de octubre de 2009 de la SDA
Meandro del Say	Resolución Conjunta SDA-CAR 03 del 23 de febrero de 2015
Jaboque	Resolución Conjunta SDA-CAR 01 del 13 de febrero de 2015
Santa María del Lago	Resolución 7773 del 22 de diciembre de 2010 de la SDA
Juan Amarillo	Resolución 3887 del 06 de mayo de 2010 de la SDA
Córdoba	Resolución 1504 del 28 de junio de 2008 de la SDA
La Conejera	Resolución 0069 del 26 de enero de 2015 de la SDA
Torca y Guaymaral	Resolución Conjunta SDA-CAR 02 del 13 de febrero de 2015
El Salitre	Sin aprobar
El Tunjo	Sin aprobar

Tabla 13: Actos jurídicos que avalan el Plan de manejo Ambiental (PMA) de los Humedales de Bogotá D.C. Adaptado de: sitio Web. Alcaldía Mayor de Bogotá, 2016

12.3. Estado general de los humedales de Bogotá

12.3.1 Humedal de la Vaca

Entorno

Es un relicto de la antigua laguna El Tintal y se encuentra al sur-occidente de la ciudad en la localidad de Kennedy. Esta fraccionado en dos sectores independientes, los cuales están separados por una zona densamente urbanizada que corresponden a barrios de estratos bajos (figura 28); el sector norte tiene 5.72 ha y se ubica entre dos avenidas (Av. Agoberto Mejía y la Carrera 91 Sur); entre el costado sur del límite de la plaza de mercado CORABASTOS (Corporación de recepción y distribución de alimentos más grande de Bogotá) y la Calle 41 bis Sur. El sector sur tiene un área aproximada de 2.24 ha y está rodeado por dos avenidas (Carreras 88 y 89 C) y las Calles 42 C Sur y 42 G Sur (SDA, 2009).



Figura 28: Humedal La Vaca. **A.** Sector Norte **B.** Sector Sur. **C.** Parque Metropolitano Cayetano Cañizales. **D.** CORABASTOS. Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

La vegetación está dominada por el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en un 80% de cobertura, con unas pocas áreas de vegetación acuática con presencia de botoncillo (*Bidens laevis*), lenguevaca (*Rumex* sp.) y barbasco (*Polygonum* sp), en cuanto la vegetación terrestre, no hay especies nativas establecidas siendo en su mayoría especies exóticas como sauces, saucos, urapanes y eucalipto (Cruz, 2015).

El humedal presenta un alto grado de degradación, por lo cual, la presencia de mamíferos se ve reducida a roedores y animales domésticos, hay poca presencia de aves en el sector sur y se han reportado algunos avistamientos de aves

migratorias en el sector norte; el hábitat para la herpetofauna se reduce a pocas áreas en los dos sectores, siendo la rana sabanera (*Dendropsophus labialis*) la única especie reportada; este humedal recibe las descargas parciales de los 13 barrios que rodean al ecosistema y el centro mayoritario de abastos (CORABASTOS), cuya fuente de contaminación principal es el alto contenido de materia orgánica (EAAB, 2001).

12.3.2. Humedal El Burro

Entorno

Es un relicto de la antigua laguna El Tintal y se encuentra al sur-occidente de la ciudad en la localidad de Kennedy. Esta fraccionado en dos sectores independientes, los cuales están separados por una avenida (Av. Ciudad de Cali) (figura 29) y cuenta con una extensión de 18.8 ha, de las cuales 0,2 ha corresponden al espejo de agua (SDA, 2008).

El humedal se encuentra limitado en el extremo suroccidental por los barrios: Tíntala, Osorio II, Osorio III, Patio Bonito, Patio Bonito III, Tairona, Vereda el Tintal, entre otros. Por el costado oriental colinda con los barrios Castilla, Pío XII, Bavaria, Mandalay, Ciudad de Kennedy norte y Villa Alsacia. Por el norte limita con los barrios El Castillo, Valladolid, el Vergel Oriental, entre otros. Por el costado sur limita con Ciudad Techo II, María Paz y CORABASTOS (SDA, 2008).



Figura 29: Humedal El Burro. **A.** Sector Oriental **B.** Sector Occidental. **C.** Av. Ciudad de Cali. Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

La construcción de la avenida Ciudad de Cali fragmentó el cuerpo del humedal interrumpiendo los flujos y el corredor biológico existente, a su vez las descargas domésticas, la urbanización desordenada, entre otros factores tensionantes que

se encuentran alrededor del ecosistema, han ocasionado una fuerte reducción de las aves, reptiles y al igual que su vecino el humedal de la vaca, la presencia de mamíferos se ha visto reducida a roedores o animales domésticos, así mismo la vegetación dominante es el pasto kikuyo y recibe las descargas parciales de los barrios que rodean al ecosistema y el centro mayoritario de abastos (CORABASTOS), cuyo contaminante principal es el alto contenido de materia orgánica (Moreno *et al.*, 2002 & IDEA, 2008).

12.3.3. Humedal de Techo

Entorno (SDA, 2009)

Es un relictos de la antigua laguna El Tintal y se encuentra al sur-occidente de la ciudad en la localidad de Kennedy. Este humedal limita al sur-orientes con la Avenida Boyacá, por el noroccidente con la Avenida Ciudad de Cali, por el suroccidente con el humedal del Burro y por el Norte con el río Fucha.

Limita por el norte con Lagos de Castilla, el barrio legalizado Santa Catalina y parte del área prevista para el desarrollo de la urbanización Urbisa, por el orientes los barrios de Castilla Real, Villa Alsacia y Castilla, por el sur el desarrollo previsto por concertación denominado BRM constructores y el barrio legalizado Valladolid, por el occidente con predios de uso industrial en proceso de desarrollo y se encuentran asentamientos ilegales al interior de la ronda y el antiguo cuerpo de agua.

La disposición de materiales de construcción, la construcción del canal de desagüe para la conducción de las aguas residuales de las nuevas urbanizaciones y los asentamientos ilegales provocaron el fraccionamiento del humedal en tres sectores desconectados (occidente – sur - orientes) y dos cuerpos de agua separados por asentamientos ilegales (figura 30).



Figura 30: Humedal de Techo. **A.** Sector oriental **B.** Sector Sur. **C.** Sector occidental. **D.** Barrio ilegal (Centro). Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

Los espejos de agua se encuentran cubiertos en mayor proporción por sombrillita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) y lenteja de agua (*Lemna minor*), siendo el cuerpo de agua del sector norte el que presenta mejores condiciones con numerosas poblaciones de enea (*Typha latifolia*) y junco bogotano (*Juncus bogotensis*) en sus orillas y una fuerte presencia del pasto kikuyo en las zonas terrestres; en cuanto a la fauna, su distribución es relativa, debido a la heterogeneidad de los tres sectores, pero principalmente se encuentran poblaciones de tinguas, chisgas, garzas, golondrinas, atrapamoscas, lechuzas, rana sabanera y algunas especies de moluscos, zigópteros, coleópteros y opiliones en los sectores norte y sur principalmente (Moreno *et al.*, 2002)

No obstante, este humedal es uno que han registrado mayor dificultad para ejecutar las acciones de recuperación, debido en gran parte a que en la mitad del ecosistema se construyó un barrio ilegal, el cual está en proceso judicial y no se ha definido el reasentamiento o el desalojo de las familias, por lo tanto, se sigue realizando las descargas parciales de aguas residuales con una alta carga de materia orgánica (SDA, 2009).

12.3.4. Humedal de Tibanica

Entorno

Hizo parte de la antigua laguna de El Tintal y se ubica al occidente de la Autopista Sur y al suroccidente de Bogotá en límite con el municipio de Soacha. Tiene una cobertura de 28.8 ha y está conformado por dos grandes áreas, la primera se extiende al costado derecho de la quebrada Tibanica en la localidad de Bosa y la segunda corresponde al área inundable conocida como Potrero Grande en el municipio de Soacha (figura 31); limita al norte con los barrios Charles de Gaulle y Villa Anni al oriente con los barrios José María Carbonell, al occidente con el canal Tibanica (antigua quebrada Tibanica) que define el límite del Distrito y al sur con el Municipio de Soacha (SDA, 2007).

La disposición de materiales de construcción, la construcción del canal de desagüe para la conducción de las aguas residuales de las nuevas urbanizaciones y la construcción de un terraplén que divide al ecosistema en dos partes en el sector de Bosa provocaron el fraccionamiento del humedal en tres zonas.



Figura 31: Humedal de Tibanica. **A.** Sector Central (Bosa), entre la Carrera 78D (Norte) y el terraplén (Sur). **B.** Sector Suroccidental (Soacha). **C.** Sector Noroccidental (Bosa). **D.** Autopista Sur. Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

Se han reportado 26 especies de plantas terrestres, de las cuales veinte son especies nativas y seis especies exóticas, siendo el pasto kikuyo la gramínea dominante en todo el humedal; en cuanto a la vegetación acuática, de los cuatro tipos (enraizadas sumergidas - enraizada emergente - libres sumergidas - libres emergentes), en Tibanica dada las condiciones de turbidez del agua no es posible que se establezca plantas enraizadas sumergidas ni libres sumergidas pero especies nativas emergentes como *Typha latifolia* y *Juncus bogotensis* se desarrollan exitosamente en las orillas del espejo de agua (SDA, 2007).

El Canal Tibanica en el área que limita con el humedal, fue desviado hacia la zona urbanizada denominada Los Olivos para conformar una protección natural contra la invasión del humedal, así mismo se establecieron varios puentes pequeños, los cuales restringen el flujo e incrementan los niveles de agua cuando se producen crecientes pero como tienen diques permiten almacenar agua del tránsito de la creciente (Castañeda *et al.*, 2016).

No obstante, en el año 2014 la Secretaria Distrital de Ambiente elaboró un diagnóstico de la situación hídrica del humedal y trazó el Plan de recuperación, Debido a que presenta un desecamiento acelerado, ocasionando los incendios forestales, reducción del espejo de agua y disminución de hábitat para la fauna silvestre (SDA, 2007)

12.3.5. Humedal La isla

Entorno

Es el último relicto del complejo de humedales que tenía la cuenca del río Tunjuelo en su desembocadura al río Bogotá y se ubica en una zona rural de la localidad de Bosa; se declaró una extensión de 7.7 ha para su protección a través del Decreto de la Alcaldía Mayor de Bogotá (Decreto 364 de 2013), limitando al sur con el río Tunjuelo, al norte, a unos 800 metros, pasa el río Bogotá, al occidente se encuentran los barrios El Potrerito, San Bernardino XVI y el Colegio Alfonso López Michelsen.

Estado

Se encuentra aislado del río Tunjuelo por grandes jarillones y solo se alimenta de aguas lluvias o algunos caudales subterráneos, sin embargo, la oferta hídrica es tan limitada que no existe un espejo de agua y la terrización es casi total, presentando una dominancia superior al 95% del pasto kikuyo, con presencia de algunos individuos arbóreos como sauces y acacias en sus límites (Bernal, 2014)

12.3.6. Humedal de Capellanía

Entorno

Hizo parte de la antigua laguna El Tintal y se ubica al occidente de la ciudad en la localidad de Fontibón y se encuentra fraccionado en dos sectores (figura 32): el primero ubicado al occidente de la Avenida Ciudad de Cali, entre las Avenidas La Esperanza y Ferrocarril de Occidente.

El segundo sector, se ubica al norte de la Avenida La Esperanza, pasando la Carrera 87 en sentido occidente – oriente; el humedal tiene una extensión total de 27 ha, limitando al occidente con el Barrio Modelia y entre dos Avenidas (13 – 26), al norte con las urbanizaciones Bella Vista, Los Pantanos, Cofradía y Santa Teresa, al sur con la carrera 87, y las bodegas de Kokoriko, al oriente con la calle 43 y al occidente con la Avenida del Ferrocarril de Occidente (SDA, 2009).

El desarrollo industrial en esta localidad ha sido uno de los factores más influyentes en la degradación de los humedales de esta zona de Bogotá, ya que desde los años 80 se convirtió en el foco de desarrollo industrial de la capital, realizando descargas constantes con altos contenidos de metales pesados, plaguicidas y materia orgánica (Moreno *et al.*, 2002).



Figura 32: Humedal de Capellanía. **A.** Segundo Sector **B.** Primer Sector. **C.** Av. La Esperanza. **D.** Fabricas industriales. En azul el Canal Fontibón (2do Sector). Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

El afluente que ingresa al humedal proviene del subsuelo y aguas pluviales, las cuales fluyen por un precario canal que desemboca en el canal de Fontibón Oriental; en el primer sector hay descargas de aguas residuales industriales con un alto contenido de metales pesados y en el segundo sector, en donde existe una alta sedimentación, se presentan descargas que proviene del canal de aguas combinadas (SDA, 2009).

Es uno de los humedales que presenta menor biodiversidad y un alto grado de degradación, en donde el sector con mayor sedimentación, presenta una dominancia del pasto kikuyo con algunas individuos de junco y botoncillo en las zonas inundables; en cuanto la vegetación arbórea nativa, esta es escasa y sobresale la barrera cortaviento de eucalipto que rodea al humedal, así mismo las especies de aves locales son escasas y la visita de aves migratorias son cada vez más ausentes (Moreno *et al.*, 2002).

12.3.7. Humedal Meandro del Say

Entorno

Este ecosistema hace parte de un antiguo meandro del río Bogotá, en los límites del municipio de Mosquera (Cundinamarca) y la Localidad de Fontibón al occidente de la ciudad (figura 33), limita al nororiente con la avenida Centenario, al occidente con los predios de la finca El Say, al suroccidente y de nuevo al sur con el río Bogotá (SDA, 2009).



Figura 33: Humedal Meandro del Say. **A.** Rio Bogotá (Oeste). **B.** Fabricas Industriales (Noroeste). **C.** Zona agropecuaria (Norte y Suroeste). **D.** Zona Franca de Bogotá (Oriente y Suroriente). **E.** Av. Calle 13. Fuente: Google Earth, 2016.

Se formó como consecuencia del aislamiento artificial de un cauce de 5.700 m de longitud, producto de la rectificación del río, ocasionando que las condiciones del cuerpo de agua fueran diferentes, pasando de ser un cuerpo en movimiento a un cuerpo en reposo, condición que favoreció la sedimentación y crecimiento de la vegetación macrófita, generando el desarrollo de hábitats muy parecidos a los encontrados en otros humedales de Bogotá (CAR *et al.*, 2015).

El cuerpo de agua ha sido afectado por diversos procesos de deterioro ambiental, como el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, hasta que en el año 2001 la construcción del alcantarillado sobre la Avenida Centenario, disminuyó la carga contaminante que ingresaba al humedal, distribuyendo las descargas por este sistema hídrico (SDA, 2009).

Estado

La vegetación dominante en su ronda presenta varias especies leñosas introducidas como eucaliptos, sauces y acacias pero también hay varias especies nativas con poco crecimiento; en el cuerpo de agua la vegetación que predomina es la sombrilla de agua, la lenteja de agua, botoncillo y junco, adicionalmente, este ecosistema reporta una presencia importante de aves migratorias, tres especies de mamíferos, una especie de anfibio, así como el pastoreo de ganado (Ramírez, 2014).

El humedal tiene tres entradas principales de agua: la lluvia, cuyo flujo de ingreso varía con el régimen respectivo y la dinámica del nivel freático el área aferente se encuentra restringida al área interna del humedal; el río Bogotá como flujo subsuperficial y descargas residuales de empresas y barrios en las épocas invernales (CAR *et al.*, 2009).

12.3.8. Humedal de Jaboque

Entorno

Está ubicado en la zona noroccidental de la ciudad, en la localidad de Engativá y se localiza entre el aeropuerto el Dorado (figura 34), el Río Bogotá y la Autopista Medellín. Tiene una extensión aproximada de 150 ha, en la cual la mayor parte del suelo está destinado a vivienda de estratos 2 – 3, cultivos de papa, fresa y hortalizas (SDA, 2012).

A raíz de las obras hechas por el acueducto, se encuentra fragmentado en tres sectores que coinciden a su vez con la construcción de tres Avenidas (Carreras 105F, 109 y 111). En la actualidad los barrios de su alrededor son: San Basilio, Las Mercedes, Villas del Dorado San Antonio, Villas del Dorado, Villa Sandra, Bosques de Mariana, Villas de Alcalá, La Riviera, Marandú, Villa Teresita, San José de Engativá, Puerta del Sol, El Cedro, Santa Librada, La Faena, Las Palmas, Los Palmares, Villa Constanza, El Porvenir, Villa Mary, Villa Sandra, Centauros del Danubio, Bosques de Granada (SDA, 2012).



Figura 34: Humedal de Jaboque. **A.** Sector uno (Zona central). **A2.** Zona Norte separada por un terraplén. **A3.** Zona Sur **B.** Sector dos. **C.** Sector tres. **D.** Antiguo cauce y Meandro del Río Bogotá. **E.** Río Bogotá (Noroeste). Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

En la ronda del humedal la vegetación terrestre es escasa y dominada casi en su totalidad por pasto kikuyo, esta gramínea está presente en gran parte del área terrestre, no obstante, se han reportado más de 45 especies, siendo la gran mayoría especies arbóreas y arbustivas nativas (PMA, 2012). De otro lado, la vegetación asociada al espejo de agua presenta tres estratos: el primero y más abundante compuesto por hierba de sapo, botoncillo y gualola; El segundo lo compone la vegetación emergente caracterizada por juncos, enea y cortadera y

el último estrato corresponde a la vegetación flotante, en la cual el buchón y la lenteja de agua son las especies dominantes (Moreno *et al.*, 2002).

Originalmente, este sistema recibía el exceso de las aguas pluviales para distribuir las periódicamente, sin embargo ahora funciona como el receptor de aguas residuales domésticas e industriales, ocasionando una colmatación muy severa en el espejo de agua, no obstante, las actividades de educación ambiental, adecuación hidráulica y geomorfológica hechas por la Secretaría Distrital de Ambiente en el año 2014, han permitido que las condiciones ecológicas del humedal mejoren, reportando más de 90 especies de aves, incluyendo especies migratorias, tres especies de culebras, la rana sabanera, la comadreja, el curí, ratas, ratones y una diversidad alta de artrópodos (SDA, 2012).

12.3.9. Humedal Santa María del lago

Entorno

Está ubicado al noroccidente de la ciudad dentro de la localidad de Engativá y en la actualidad se encuentra aislado del Río Juan Amarillo con el que estaba conectado originalmente (figura 35). Limita por el norte con el Centro de Estudios del Niño y el Conjunto Residencial de San Francisco, hacia el oriente con las Carreras 74 y 73 A y el Conjunto Residencial Sago, por occidente con la carrera 76 y por el sur con la calle 75 con una extensión aproximada de 11 ha (EAAB, s.f.).

La comunidad circundante con el humedal ha promovido la conservación de este ecosistema y se han creado varias organizaciones como la Organización Prolago, la Fundación Ecovida y la Fundación La Tingua, apoyada por la Red de Humedales de Bogotá y La Universidad Jorge Tadeo Lozano (SDA, 2010).



Figura 35: Humedal Santa María del Lago. **A.** Troncal Calle 80. **B.** Av. Boyacá. **C.** Zona residencial. Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

En su ronda se establecieron especies nativas (aliso, arrayan, sangregado) y exóticas (urapanes, acacias, eucaliptos), en cuanto la vegetación semiacuática, está dominada por enneas, juncos y cortaderas que rodean el espejo de agua, cuya superficie ocupa casi 6 ha con una fuerte presencia de clavito y sombrilla de agua, las cuales se asocian con especies herbáceas no flotantes como el botoncillo y el barbasco o comunidades errantes emergidas representadas por el buchón, la lenteja de agua y el helecho de agua (*Azolla filiculoides*) (SDA, 2013).

El humedal recibe aguas residuales domésticas y pluviales a través del sistema combinado de alcantarillado, el cual descarga su caudal en cuatro puntos del ecosistema, no obstante, las actividades de adecuación hidráulica y geomorfológica hechas por la SDA (2013), ha permitido que la oferta hídrica sea mayor y de mejor calidad, favoreciendo principalmente a las aves con un reporte de más de treinta especies (entre locales y migratorias) pero sin registros de reptiles, mamíferos nativos y artrópodos.

12.3.10 Humedal Juan Amarillo

Entorno

Se ubica al noroccidente de Bogotá (figura 36), limita al oriente con dos avenidas (transversal 91 - Carrera 140), por el occidente es un plano anegable, al norte con la PTAR El Salitre y los barrios que hacen parte de la localidad de Suba (Tibabuyes, Lisboa, Villa Cindy, Santa Cecilia Rincón) y hacia el sur con las urbanizaciones que se encuentran entre el Minuto de Dios, Bolivia y Colsubsidio que corresponden a la localidad de Engativá (EAAB & CI, 2010).

El ancho del humedal varía entre 400 y 700 m con una extensión aproximada de 222.76 ha, siendo el humedal con mayor área que existe en la ciudad; este tamaño y su posición geográfica, favorece la conectividad entre los humedales La Conejera (Suba) y Jaboque (Engativá) a través del Río Bogotá y Juan Amarillo.



Figura 36: Humedal Juan Amarillo. **A.** Sector tercio alto (Norte). **A2.** Sector independiente **B.** Sector tercio medio. **C.** Sector tercio bajo (Suroeste) **D.** Área de la **PTAR** El Salitre (Noroeste). **E.** Carrera 86. En azul Canal El Salitre (Rio Juan Amarillo). Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

Los caudales que componen el sistema hídrico del humedal de acuerdo a (EAAB & CI, 2010) son:

- La laguna 1 del sector conocido como tercio alto, con una longitud máxima de 1.400 m y una anchura máxima de 400 m.
- El Canal Salitre que limita con la laguna uno (canalización del Rio Juan Amarillo).
- Las lagunas 2, 3, y 4 ubicadas en los tercios medios y bajos con una extensión de 180 ha.
- El canal de salida que controla las descargas del humedal y las crecidas del Rio Bogotá.

El humedal ha perdido gran parte de su área por procesos de urbanización, relleno y actividades agropecuarias, sin embargo, aún cuenta con valores ecológicos importantes, reportando 51 especies de plantas acuáticas y semiacuáticas, de las cuales 38 especies son nativas; 4 registros de plantas acuáticas y semiacuáticas nuevas, 10 comunidades vegetales acuáticas, 70 especies arbóreas, arbustivas, herbáceas y 6 franjas vegetales terrestres.

La distribución de las poblaciones animales es bastante heterogénea, identificando 6 posibles hábitats que se describen de la siguiente manera:

- Fauna asociada a la pradera emergente de gramíneas y juncos.
- Fauna asociada al espejo de agua.
- Fauna de alta movilidad en vegetación acuática.
- Fauna de alta movilidad (zonas mixtas).
- Fauna de pastizales y sustratos rocosos.
- Fauna asociada a zona boscosa.

Finalmente, la información que se levantó en campo sobre la fauna, reporta 3 especie de anfibios, 3 de reptiles, 54 de aves, de las cuales 33 se encuentran permanentemente en el humedal, 6 mamíferos y 23 familias de artrópodos (EAAB & CI, 2010).

12.3.11. Humedal Córdoba

Entorno

Está ubicado al norte de la ciudad entre las calle 116 y 127 y entre las Avenidas Córdoba y Boyacá en la localidad de Suba. Tiene un área de 40.4 ha y se encuentra fraccionado en tres sectores independientes (figura 37), conectando al oriente el con el Canal Córdoba y el Canal Molinos al sector dos, al occidente, el sector tres limita con el lago del Club Choquenzá, Los Lagartos y el Humedal Tibabuyes, formando el sistema Córdoba – Juan Amarillo (SDA, 2008).

La parte alta del humedal o sector uno, ubicada de la Calle 127 hacia el norte, colinda con los barrios Mónaco, Prado Veraniego sur y el Canódromo, el sector medio o segundo sector, está ubicado entre dos Avenidas (Av. Córdoba – Av. Suba), limitando con los barrios Batán, Potosí, Puente Largo, Santa Rosa y una serie de conjuntos residenciales, finalmente la parte baja o sector tres, se ubica entre la Avenida Boyacá y los barrios Julio Flórez y Niza sur (SDA, 2008).



Figura 37: Humedal de Córdoba. **A.** Sector uno **B.** Sector dos. **C.** Sector tres. **D.** Lago Club Choquenzá. **E.** Av. Suba. **F.** Av. Calle 127. **G.** Av. Boyacá. **H.** Zona residencial. **I1.** Canal Córdoba (Norte). **I2.** Canal Callejas (Este). **I3.** Canal Los Molinos (Sur). Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

La oferta hídrica de cada uno de los sectores es bastante heterogénea, debido a las presiones antrópicas (urbanización, descargas domésticas, infraestructura

vial), así como la cobertura vegetal que se desarrolla en cada uno de los fragmentos. En consecuencia, el Canal Córdoba (aguas combinadas) atraviesa en dirección norte – sur al sector uno, presentando una buena cobertura de especies arbóreas (nativas y exóticas) en su ronda, sin embargo, no presenta cuerpos loticos permanentes, de manera que la vegetación semiacuática como juncos, papiros y enneas, se reducen a unas pocas zonas inundables que aún tiene este canal a la altura de la Calle 127 (Rosselli *et al.*, 2007)

A raíz de la organización jurídica, liderada por la Junta de Acción Comunal de Niza y la comunidad que se encuentra en los límites de los tres sectores, se realizaron una serie de adecuaciones hidráulicas, entre las que se destaca la redirección de un caudal que proviene de la quebrada Santa Bárbara, que nace en los Cerros Orientales, hacia el espejo de agua que posee el sector dos (SDA, 2008).

No obstante, el cuerpo de agua recibe aportes del Canal Callejas (alcantarillado combinado), así como del Río Molinos (afluente con metales pesados) a través de corrientes subterráneas o de manera superficial en épocas de mucha precipitación, lo que ha generado que algunas partes del humedal se encuentren con un proceso avanzado de eutrofización (Rosselli *et al.*, 2007).

El sector tres presenta dos espejos de agua, el primero se extiende desde el límite oriental con la avenida Suba hasta el lago del Club Choquenzá, el cual limita al sur con el segundo espejo de agua, en la zona que colinda con la Avenida Boyacá y la Calle 117 C. Estos cuerpos de agua no tienen una buena capacidad para asimilar materia orgánica, por consiguiente, los valores de DBO y DQO son altos, entre 20 - 1020 mg/L 110-3200 mg/L respectivamente, con altos niveles de coliformes fecales (1700 a 330.000 NMP/100 ml), altos niveles de fósforo (2.1-33.3 mg/L) y de nitrógeno (4.5 - 60.5 mg/L) (Moreno *et al.*, 2002).

A pesar de la fragmentación y las cargas contaminantes que continúan ingresando a cada uno de los sectores, este ecosistema es uno de los más biodiversos, ya que cuenta con una ronda bien desarrollada, con población arbórea y arbustiva significativa, entre las que se destacan el aliso, caucho sabanero, alcaparro, cedro, nogal, pino, sauce, sangregado, entre otras; así mismo, este mosaico vegetal ofrece buenas condiciones para que especies de aves, reptiles, anfibios, mamíferos y macro invertebrados acuáticos se hayan establecido, lo cual hace de este uno de los ecosistemas más diversos del sistema de humedales de la ciudad (Rosselli *et al.*, 2007)

12.3.12. Humedal La Conejera

Entorno

Está ubicado al noroccidente de Bogotá (figura 38), en la localidad de Suba, limitando hacia oriente con la vía Suba – Clínica Corpas, por el occidente con el Río Bogotá, por el norte con la Hacienda Las Mercedes, el Seminario Luis Amigó y la finca Berice, por el sur con la Hacienda Fontanar del Río y al suroccidente con los barrios Cedros de Suba, Hato Chico, Compartir, Camino Verde de Suba,

Los Arrayanes, Londres, Urbanización Las Mercedes, Las Acacias, entre otros (FHLC & EAAB, 2015)

La cuenca tributaria de La Conejera se ubica en la margen izquierda del Río Bogotá, en el área comprendida entre Suba y Cota, por el oriente, este ecosistema limita con el Cerro La Conejera que recarga los acuíferos subterráneos a través de los afloramientos de arenisca y por el sur con la cuenca tributaria del Río Juan Amarillo, la cual demarca el límite del perímetro urbano; es importante recordar que la zona cercana al Río Bogotá se encuentra estructuralmente conectada al humedal, sin embargo no hace parte de la zona protegida del humedal (Moreno *et al.*, 2002)



Figura 38: Humedal La Conejera. **A.** Quebrada La Salitrosa. **A2.** Quebrada. **A3.** Quebrada. **B.** Zona agropecuaria. **C.** Río Bogotá. **D.** Zona residencial. Fuente: Google Earth, 2016.

Estado

El humedal recibía las descargas de la quebrada La Salitrosa, cuyo caudal distribuye las descargas de los barrios de su ronda, también la disposición de basuras y el relleno sistemático con el fin de urbanizar algunas áreas del ecosistema, sin embargo, la organización jurídica de la comunidad (Fundación La Conejera), así como la comunidad académica (Colegios, Universidades) y organizaciones estatales, han guiado los procesos de recuperación y construcción de las redes locales de alcantarillado en 23 barrios, lo cual reducirá en más de un 80% el vertimiento de aguas las aguas residuales domésticas, adicionalmente se reubicaron más de 20 familias que habitaban la ronda de la quebrada (FHLC, 2003).

Un estudio realizado por el Área de Restauración de Ecosistemas de la Fundación Humedal La Conejera (2004), genero un inventario entre 1994 y 2004 de la flora del humedal, en el cual se reportan 250 especies, entre las que se destacan 15 especies acuáticas y semiacuáticas, especies arbóreas nativas y en

menor proporción exóticas, por otro lado, las zonas que presentan un alto grado de terrización, el pasto kikuyo es la especie que domina en estos espacios

A pesar de las descargas residuales que ingresan al humedal, la diversidad de fauna es bastante alta, gracias a la oferta vegetal y la adecuación hidráulica que han mejorado las condiciones ecológicas para la presencia de más de 40 especies de aves, reptiles, anfibios, mamíferos y artrópodos, siendo uno de los humedales en mejor estado de la ciudad (FHLH, 2004).

12.3.13. Humedal de Torca y Guaymaral

Entorno

El humedal de Torca hace parte de la localidad de Usaquén y se localiza en la vereda de Torca (figura 39), cerca de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. “Thomas van der Hammen”, la cual se encuentra en conexión con el Canal de Torca; su extremo sur ocupa una pequeña porción en el cementerio Jardines de Paz y desde este punto sigue paralelo a la Autopista Norte, por el costado derecho en dirección sur - norte, hasta alinearse con el Colegio San Viator con un área de 30.27 hectáreas y un espejo de agua que ocupa un espacio aproximado de 0.9 hectáreas (CAR & SDA, 2015).



Figura 39: Humedal Torca y Guaymaral. **A.** Sector Guaymaral. **B.** Sector Torca. **C.** Autopista Norte. **D.** Cerros Orientales. **E.** Zona agropecuaria. **F.** Zona académica. **G.** Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. **H.** Centro Comercial BIMA. **11.** Canal Guaymaral (Norte). **12.** Quebrada Torca. **13.** Quebrada San Juan (noreste). **14.** Quebrada Aguas Calientes (Sureste). **15.** Canal Torca (Sur). **16.** Quebrada Patiño. Fuente: Google Earth, 2016.

El humedal Guaymaral se ubica en la localidad de Suba, vereda Casablanca con un área de 49.6 ha y un espejo de agua de 0.6 hectáreas, limitando al oriente con el centro comercial BIMA y la Autopista Norte, al occidente con el Aeropuerto Guaymaral y algunas fincas agropecuarias, al norte con calle 235 y al sur con la

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. y otras instituciones académicas.

Estado

Los aportes hídricos a los humedales de Torca y Guaymaral, se han reducido debido a las actividades agropecuarias que se han venido desarrollando en su área de influencia, siendo El Canal Torca el principal afluente y en menor cantidad las quebradas Tibabita, Aguas Calientes, Patiño, San Juan, Las Pilas y Floresta que ocasionalmente drenan su caudal hacia el humedal con un alto contenido de materia orgánica (EAAB, 2012).

El separador de la Autopista Norte, presenta un alto flujo vehicular, sin embargo, hay una gran diversidad de especies arbóreas, entre ellas alisos, sauces, saucos, higueros, trompetos, y sangregado junto a especies acuáticas y semiacuáticas, en las que predominan los juncos, enneas, cortaderas y lengua de vaca; en cuanto los cuerpos de agua de los otros dos sectores, la vegetación dominante está compuesta por sombrillita de agua y lenteja de agua (CAR & SDA, 2015).

En general la vegetación arbórea tiene una diversidad media-alta en sus tres sectores, pero presenta un alto grado de terrización, siendo el pasto kikuyo la especie dominante, en cuanto a la fauna se han reportado 31 especies de aves, lagartos, culebra sabanera, rana sabanera, zarigüeya, curíes, ratas, ratones y una gran diversidad de insectos acuáticos y terrestres (EAAB, 2012).

12.3.14. Humedal El Salitre

Entorno

Está ubicado al occidente de la ciudad en la localidad de Barrios Unidos con una extensión de 5.9 ha (figura 40), limitando al norte con el Barrio José Joaquín Vargas, al occidente con el centro recreativo CICI Aquapark y el parque de diversiones Salitre Mágico, al sur con el Parque El Salitre y al suroriente la Policía Ambiental Ecológica, custodia el ecosistema (FHB, 2011)

El origen de este humedal es reciente y fue construido como un lago artificial para recreación familiar, ubicado dentro del antiguo parque de diversiones El Salitre, inaugurado en 1973; en el año 1999, el Parque fue cerrado para remodelarlo y fue abierto nuevamente al público en el año 2000, transformándose en el actual parque de diversiones Salitre Mágico, dejando a un lado el uso de este cuerpo de agua que con el paso de los años fue colonizado por vegetación acuática (Abril, 2014)

Estado

La oferta hídrica de este humedal es únicamente de aguas lluvias y no presenta conexiones erradas, lo cual genera un caudal de buena calidad, es decir, con bajos contenidos de material orgánico y sin metales pesados; en cuanto la vegetación acuática y semiacuática que se estableció, es dominada por juncos, enneas y cortadera, la zona terrestre es dominada por el pasto kikuyo y presenta algunas especies arbóreas nativas y exóticas en su ronda (FHB, 2011).

A pesar de ser un ecosistema muy joven, se han registrado 37 especies de plantas, dos especies de peces Guppy (*Poecilia reticulata*) y Guapucha (*Grundulus bogotensis*), la rana Sabanera, una tortuga hicoitea posiblemente introducida (*Trachemys callirostris*), culebra sabanera, curíes y 43 especies de aves, de las cuales 17 son migratorias (Abril *et al.*, 2012).



Figura 40: A. Humedal El Salitre. B. Parque de diversiones Salitre mágico. C. Av. 60. D. Av. 68.
Fuente: Google Earth, 2016.

12.3.15. Humedal El Tunjo

Entorno

La Secretaria Distrital de Ambiente en el año 2014 reconoció el Parque Ecológico Distrital Humedal El Tunjo, ubicado sobre en una zona meandrica entre la localidad de Ciudad Bolívar y Tunjuelito; Es un complejo de zonas inundables del Rio Tunjuelo, el cual incluye 6 espejos de agua permanentes, entre los que se encuentran La libélula o Luciérnaga, La Mosca y El Colibrí con una extensión total de 33.2 ha. (Bernal, 2014).

Limita al noroccidente con la con la UPZ 65 (Arborizada) de la localidad Ciudad Bolívar, al sur con el portal de Transmilenio (El Tunal) y el barrio Casa Linda, al oriente con la avenida Boyacá (Bernal, 2014).

Estado

El humedal reporta la presencia de 45 especies de plantas, que corresponden a 28 familias, las especies arbóreas siendo que predominan son exóticas, siendo el pasto kikuyo la especie dominante en todas las zonas terrestres, en la ronda hídrica hay mayor presencia de especies nativas pero con características invasivas como la calabaza (*Cucurbita pepo*) (Mateus & Caicedo, 2016).

El Río Tunjuelo entre la Avenida Boyacá y la Autopista Sur tiene una serie de jarillones en ambas riberas pero no está canalizado, lo que permite que se desborde en muchos lugares y genere cuerpos de agua estacionales y temporales, creando una gran diversidad de humedales y zonas de inundación (Bernal, 2014)

Esta heterogeneidad en el paisaje puede favorecer la presencia de varias especies de animales, sin embargo, no se tiene un reporte oficial de las aves, anfibios, reptiles, artrópodos y mamíferos que habitan en el humedal, por lo tanto el tipo de humedal construido que va ser sugerido estará guiado al entorno y sus problemáticas ambientales.

12.4. Matriz de Conflictos Ambientales y sugerencias de WC

Los humedales de Bogotá presentan problemáticas ambientales en común, tales como el déficit hídrico, la presión antrópica, descargas de aguas residuales, Eutrofización del medio acuático, pérdida de biodiversidad, dominancia de pasto exótico (kikuyo), competencia agresiva de especies arbóreas o arbustivas (eucalipto, sauce, pino, acacia, sauco, retamo) y percepción de inseguridad; sin embargo, el impacto de las problemáticas ambientales es mayor o menor, dependiendo de los aspectos naturales y sociales que ocurren en cada ecosistema, por lo tanto, la siguiente matriz describe las problemáticas ambientales que tiene cada humedal bogotano y con base en ese diagnóstico, se sugieren una o varias alternativas de **WC** que ayuden a mejorar la calidad ecológica del humedal.

“**WC**, sigla en inglés que corresponde a *Wetland Constructed*, significa Humedal Construido”

Tabla 14: Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá y Propuesta de WC.

Humedal	Problemática ambiental	Causa	Efecto	Propuesta de WC
La Vaca (PMA, 2009)	Urbanización ilegal	-Acceso libre para la población y mascotas -Acceso libre para descargas de residuos sólidos -Descargas de aguas negras y grises -Presión residencial, comercial y vehicular	-Inseguridad y depredación de fauna -Disposición de basuras y escombros -Colmatación de los dos fragmentos -Pérdida del área natural legal	Sistema híbrido (VSF – HSF // Sector Norte) Sistema híbrido (VSF – FWS // Sector Norte) (FWS // Sector Sur) (FWS // Opcional // Parque Metropolitano Cayetano Cañizales)
	Fragmentación del relicto en dos sectores	-Reducción de hábitats -Alteración de la estructura trófica -Aislamiento del sistema hídrico original -Introducción de especies exóticas	-Transformación de la vegetación -Pérdida de flora y fauna nativa -Desconexión total entre los dos fragmentos -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local	
	Conexiones erradas	-Alteración de las características abióticas del agua. -Descargas de aguas residuales domésticas (residencial, plazas de mercado)	-Baja capacidad de almacenamiento y amortiguación hídrica -Caudal de muy baja calidad para el humedal -Déficit hídrico -Eutrofización del espejo de agua	
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental -Escasa valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos	-Ausencia de actividades comunitarias en defensa del humedal -No hay conciencia sobre la importancia del humedal	
El Burro (PMA, 2008)	Fragmentación del relicto en dos sectores	-Reducción de hábitats -Alteración de la estructura trófica -Introducción de especies exóticas	-Transformación de la vegetación -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local -Pérdida de flora y fauna nativa -Desconexión y degradación de los relictos	Sistema híbrido (VSF – HSF // Sector Oriental) (FWS // Sector Occidental)
	Conexiones erradas	-Alteración de las características abióticas del agua. -Descargas de aguas residuales domésticas (residencial, plaza de mercado)	-Baja capacidad de almacenamiento y amortiguación hídrica -Pérdida acelerada del área inundable y ronda hidráulica -Caudal de muy baja calidad para el humedal -Déficit hídrico -Eutrofización de los cuerpos de agua	
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Disposición de heces animales -Depredación de fauna	

Tabla 14: Matriz de Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá D.C. y Propuesta de WC para su recuperación.

Tabla 14: Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá y Propuesta de WC.

	Infraestructura vial	-Fragmentación del humedal en dos relictos -Presión residencial, comercial y vehicular	-Desconexión y degradación de los relictos	
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Escasa valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos -Actividades ilegales	-No hay conciencia sobre la importancia del humedal -Pérdida del área natural legal	
Techo (PMA, 2009)	Urbanización ilegal	-Acceso libre para la población y mascotas -Descargas de residuos sólidos -Descargas de aguas residuales domésticas e industriales -Cambios en la estructura del suelo -Presión residencial y vehicular	-Inseguridad y depredación de fauna -Disposición de basuras y escombros -Colmatación de los dos fragmentos -Pérdida del área natural legal -Rellenos ilegales en algunas zonas	(FWS// Sector Norte, Sur, Oeste, Este)
	Fragmentación del relikto	-Reducción de hábitats -Alteración de la estructura trófica	-Transformación del mosaico vegetal -Ausencia de cobertura vegetal en su ronda y parte del humedal -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local -Pérdida de especies vegetales nativas	
	Conexiones erradas	-Alteración de las características abióticas del agua. -Descargas de aguas residuales domésticas (residencial)	-Baja capacidad de almacenamiento y amortiguación hídrica -Caudal de muy baja calidad para el humedal -Déficit hídrico	
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Disposición de heces animales -Depredación de fauna	
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental -Escasa valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos	-Ausencia de actividades comunitarias en defensa del humedal -No hay conciencia sobre la importancia del humedal	
Tibanica (PMA, 2007)	Falta de control y vigilancia del humedal	-Presencia constante de habitantes de calle -Descargas de residuos sólidos	-Inseguridad -Disposición de basuras y escombros	(VSF //Zona sur, central y norte // Opción 1) (HSF // Zona sur, central norte // opción 2)

Tabla 14: Matriz de Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá D.C. y Propuesta de WC para su recuperación.

Tabla 14: Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá y Propuesta de WC.

Tibanica (PMA, 2007)	Reducción de estratos vegetales	-Eliminación de sitios de anidación, alimentación y refugio para la fauna -Introducción de especies exóticas -Homogenización y disminución de las comunidades acuáticas	-Transformación del mosaico vegetal -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local - Pérdida de especies por extracción, y/o modificación del hábitat	
	Fragmentación del relicto en tres sectores	-Reducción de hábitats -Alteración de la estructura trófica	-Transformación del mosaico vegetal -Ausencia de cobertura vegetal en su ronda y parte del humedal -Pérdida de especies vegetales nativas -Desconexión y degradación de los relictos	
	Conexiones erradas	-Alteración de las características abióticas del agua. -Descargas de aguas residuales domésticas e industriales -Presión residencial y vehicular	- Disminución en las poblaciones de fitoplancton, zooplancton, perifiton, bentos, anfibios, y vegetación acuática -Caudal de muy baja calidad para el humedal -Déficit hídrico -Eutrofización del espejo de agua	
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Disposición de heces animales -Depredación de fauna	
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental -Escasa valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos	-Ausencia de actividades comunitarias en defensa del humedal -No hay conciencia sobre la importancia del humedal	
La Isla (Bernal, 2014; Decreto 364 de 2013)	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas	-No hay espejo de agua -Déficit hídrico -Ausencia total de cobertura vegetal nativa -Alto grado de terrización	(por definir los usos del reciente humedal) Opcional : uno o varios FWS)
	Pérdida de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Ausencia de valoración ambiental y económica de del ecosistema -Presión urbanística	-Ausencia de actividades comunitarias en defensa del humedal -Área de interés para construir vivienda	
Capellanía (PMA, 2009)	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas -Homogenización y disminución de las comunidades acuáticas	-Transformación del mosaico vegetal -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local -Pérdida de especies vegetales nativas	Sistema híbrido (VSF – HSF //Sector Norte)

Tabla 14: Matriz de Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá D.C. y Propuesta de WC para su recuperación.

Tabla 14: Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá y Propuesta de WC.

Capellanía (PMA, 2009)	Falta de control y vigilancia del humedal	-Pastoreo de vacas y caballos	-Disposición de heces animales y compactación del suelo -Disposición de basuras y escombros	(FWS // Zona occidental, central, suroccidental)
	Fragmentación del relicto en dos sectores	-Reducción de hábitats -Alteración de la estructura trófica	-Transformación del mosaico vegetal -Ausencia de cobertura vegetal en su ronda y parte del humedal -Pérdida de especies vegetales nativas -Desconexión y degradación de los relictos	
	Conexiones erradas	-Alteraciones hidráulicas en el drenaje y disminución de la infiltración por obras de infraestructura -Descargas del alcantarillado combinado -Presión residencial y vehicular	-Mala distribución del caudal -Caudal con alto contenido de materia orgánica y elementos inorgánicos -Déficit hídrico -Eutrofización de los cuerpos de agua	
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Inseguridad y depredación de fauna	
	Infraestructura vial	-Fragmentación del humedal en dos relictos -Proyección de la Avenida Longitudinal del occidente (ALO) sobre el humedal	-Aislamiento del humedal de la Estructura Ecológica Principal -No tiene definidas zonas de amortiguación -Desconexión y degradación de los relictos	
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental -Escasa valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos	-Procesos débiles en la organización socioambiental alrededor de la conservación del humedal. -No hay conciencia sobre la importancia del humedal	
Meandro del Say (PMA,2012)	Falta de control y vigilancia del humedal	-Pastoreo de vacas y caballos -Actividades agrícolas con agroquímicos -Crecimiento urbano acelerado	-Disposición de heces animales y compactación del suelo -Disposición de basuras y escombros -Vertimientos químicos en el humedal -Urbanizaciones no planificadas en la ronda del ecosistema	(VSF // Sector Oriental //Opción 1)
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Disposición de heces animales -Depredación de fauna	
	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas	-Transformación del mosaico vegetal -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local	

Tabla 14: Matriz de Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá D.C. y Propuesta de WC para su recuperación.

Tabla 14: Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá y Propuesta de WC.

Meandro del Say (PMA, 2012)	Ubicación del humedal	-Hace parte de la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) de tipo industrial	-Recibe descargas industriales -Eutrofización del espejo de agua	(FWS // Sector Oeste)
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental -Escasa valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos -Presión residencial, industrial, agropecuaria y vehicular	-Ausencia de actividades comunitarias en defensa del humedal -No hay conciencia sobre la importancia del humedal -Falta de articulación entre los planes de desarrollo (Bogotá D.C.) y los planes de ordenamiento territorial (Mosquera)	
Jaboque (PMA, 2012)	Falta de control y vigilancia del humedal	- Pastoreo de vacas y caballos -Asentamientos ilegales -Presión residencial, agropecuaria y vehicular	- Disposición de heces animales y compactación del suelo -Urbanizaciones no planificadas en la ronda del ecosistema -Disposición de basuras y escombros	Sector Uno: (3 FWS // Sector Noroeste, central, Sureste) Sector Dos: (VSF // Opción 1) (HSF // Opción 2)
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Disposición de heces animales -Depredación de fauna	
	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas -Alteración del mosaico vegetal	-Perdida de especies vegetales nativas -Transformación del mosaico vegetal -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local	
	Fragmentación del relicto en tres sectores	-Reducción de hábitats -Alteración de la estructura trófica	-Transformación del mosaico vegetal -Perdida de especies vegetales nativas -Desconexión y degradación de los relictos	
	Conexiones erradas	-Alteraciones hidráulicas en el drenaje y disminución de la infiltración por obras de infraestructura -Descargas del alcantarillado combinado	-Mala distribución del caudal -Caudal con alto contenido de materia orgánica y elementos inorgánicos -Déficit hídrico -Eutrofización de los cuerpos de agua	
	Infraestructura vial	-Fragmentación del humedal en tres relictos	-Aislamiento del humedal de la Estructura Ecológica Principal -No tiene definidas zonas de amortiguación -Desconexión y degradación de los relictos	

Tabla 14: Matriz de Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá D.C. y Propuesta de WC para su recuperación.

Tabla 14: Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá y Propuesta de WC.

	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental	-Procesos débiles en la organización socioambiental alrededor de la conservación del humedal.	Sector tres: (VSF // Opción 1) (HSF // Opción 2)
Sata María del lago (PMA, 2010)	Falta de control y vigilancia del humedal	-Presencia constante de habitantes de calle -Presencia de pandillas juveniles -Acceso libre para las mascotas -Presión residencial y vehicular	-Inseguridad -Disposición de basuras y escombros -Disposición de heces animales y compactación del suelo -Depredación de fauna	3 HSF (entradas de alto contenido de MO) 1 VSF (entrada de agua con grasas y aceites)
	Poblaciones de animales exóticos	-Presencia de patos domésticos	-Competencia por recursos y espacio con las aves locales	
	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas -Alteración del mosaico vegetal	-Pérdida de especies vegetales nativas -Transformación del mosaico vegetal -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local	
	Conexiones erradas	-Alteraciones hidráulicas en el drenaje y disminución de la infiltración por obras de infraestructura -Descarga de agua residual domestica e industrial (grasas y aceites)	-Mala distribución del caudal -Caudal con alto contenido de materia orgánica y elementos inorgánicos -Déficit hídrico -Eutrofización del espejo de agua	
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental	-Limitaciones con las actividades de educación ambiental	
Juan Amarillo (PMA, 2010)	Falta de control y vigilancia del humedal	- Pastoreo de semovientes -Asentamientos ilegales -Presión residencial, agropecuaria y vehicular	- Disposición de heces animales y compactación del suelo -Senderos peatonales no planificados -Disposición de basuras y escombros	Sector tercio alto: (VSF // oeste //opción 1) (HSF // Oeste //opción 2) Sector tercio medio: Las mismas que en tercio alto
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Disposición de heces animales -Depredación de fauna	
	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas -Alteración del mosaico vegetal	-Pérdida de especies vegetales nativas -Transformación del mosaico vegetal -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local	
	Fragmentación del relicto en dos sectores	-Reducción de hábitats -Alteración de la estructura trófica	-Transformación del mosaico vegetal -Desconexión y degradación de los relictos	

Tabla 14: Matriz de Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá D.C. y Propuesta de WC para su recuperación.

Tabla 14: Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá y Propuesta de WC.

Juan Amarillo (PMA, 2010)	Conexiones erradas	-Alteraciones hidráulicas en el drenaje y disminución de la infiltración por obras de infraestructura -Descargas del alcantarillado combinado -Presión residencial, agropecuaria y vehicular	-Mala distribución del caudal -Caudal con alto contenido de materia orgánica y elementos inorgánicos -Déficit hídrico -Eutrofización de los cuerpos de agua	Sector tercio bajo: (FWS // Oeste) Fragmento Nororiental: Sistema híbrido (VSF // HSF // Norte) Opcional: VSF // HSF // FWS // PTAR El Salitre
	Infraestructura vial	-Fragmentación del humedal en dos relictos -Proyección de la Avenida Longitudinal del occidente (ALO) sobre el humedal	-Aislamiento del humedal de la Estructura Ecológica Principal -No tiene definidas zonas de amortiguación -Desconexión y degradación de los relictos	
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental	-Desarticulación entre las localidades de Suba y Engativá frente al manejo ambiental del humedal y las acciones que las organizaciones locales realizan en este ecosistema -Bajos niveles de apropiación social de ecosistema por parte de algunos vecinos del humedal	
Córdoba (PMA, 2008)	Limitaciones de vigilancia y control del humedal	-Presencia constante de habitantes de calle -Presión residencial y vehicular	-Inseguridad -Disposición de heces humanas -Disposición de basuras y escombros	Sector uno: (FWS // Centro) Sector dos: (VSF // Norte // Entrada de agua) Sector tres: Sistema híbrido (VSF // HSF // Este // unión de 2 canales) Opcional VSF // HSF // FWS // Club Choquenzá
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Disposición de heces animales -Depredación de fauna	
	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas -Alteración del mosaico vegetal	-Competencia agresiva de pastos y especies acuáticas con la flora local	
	Fragmentación del relicto en tres sectores	-Reducción de hábitats -Alteración de la estructura trófica	-Transformación del mosaico vegetal -Desconexión y degradación de los relictos	
	Conexiones erradas	-Descargas del alcantarillado combinado -Estructuras hidráulicas deficientes o nulas -Presión residencial, agropecuaria y vehicular	-Mala distribución del caudal -Déficit hídrico -Caudal con alto contenido de materia orgánica y elementos inorgánicos -Eutrofización de los cuerpos de agua	
	Infraestructura vial	-Fragmentación del humedal en tres relictos	-Aislamiento del humedal de la Estructura Ecológica Principal -Desconexión y degradación de los relictos	

Tabla 14: Matriz de Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá D.C. y Propuesta de WC para su recuperación.

Tabla 14: Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá y Propuesta de WC.

La Conejera (PMA, 2010)	Limitaciones de vigilancia y control del humedal	-Rellenos ilegales de escombros -Asentamientos ilegales	-Inseguridad y -Colmatación y terrización del humedal	Sector Este (Opción 1 // HSF // Este // entrada Q. Salitrosa)
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Disposición de heces animales -Depredación de fauna	
	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas -Alteración del mosaico vegetal	-Pérdida de especies vegetales nativas -Transformación del mosaico vegetal -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local	(Opción 2 // VSF // HSF // entrada Q. Salitrosa)
	Conexiones erradas	-Descargas del alcantarillado combinado -Estructuras hidráulicas deficientes o nulas -Presión residencial y agropecuaria	-Mala distribución del caudal -Déficit hídrico -Caudal con alto contenido de materia orgánica y elementos inorgánicos -Eutrofización y disminución del espejo de agua	Sector Medio: (HSF // Oeste // Afluente doméstico y agropecuario)
	Infraestructura vial	-Proyección de la Avenida Longitudinal del occidente (ALO) sobre el humedal	-Fragmentación y degradación del ecosistema	Sector Oeste (FWS // Oeste // Salida del humedal)
Torca y Guaymaral (PMA, 2015)	Falta de control y vigilancia del humedal	-Rellenos ilegales de escombros -Pastoreo de semovientes	-Invasión o apropiación privada de las áreas de ronda -Colmatación y terrización del humedal	S. Guaymaral (Zona norte: VSF o HSF // Sureste de BIMA) (Zona central: VSF o HSF // Este, Cl. 224) (Zona sur: sistema híbrido // VSF // FWS // (Cl. 218-224))
	Presencia de animales ferales	-Alteración de la estructura trófica	-Disposición de heces animales -Depredación de fauna	
	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas -Alteración del mosaico vegetal	-Pérdida de especies vegetales nativas -Transformación del mosaico vegetal -Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local	
	Fragmentación del relicto en dos sectores principales	-Reducción de hábitats -Alteración de la estructura trófica	-Transformación del mosaico vegetal -Desconexión y degradación de los relictos	
	Conexiones erradas	-Descargas del alcantarillado combinado -Estructuras hidráulicas deficientes o nulas -Presión residencial y agropecuaria -Desconocimiento de la interrelación entre el agua subterránea y superficial -Presión residencial, agropecuaria y vehicular	-Mala distribución del caudal -Déficit hídrico -Caudal con alto contenido de materia orgánica y elementos inorgánicos -Eutrofización y disminución de los cuerpos de agua	

Tabla 14: Matriz de Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá D.C. y Propuesta de WC para su recuperación.

Tabla 14: Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá y Propuesta de WC.

Torca y Guaymaral (PMA, 2015)	Infraestructura vial	-Fragmentación del humedal en tres relictos	-Aislamiento del humedal de la Estructura Ecológica Principal -Desconexión y degradación de los relictos	Sector Torca Zona norte: HSF o VSF // Norte Q. San Juan) (Zona central: HSF o VSF // Centro // Canal Torca) (Zona Sur: HSF o VSF // Ingreso Canal Torca)
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental	-Desarticulación entre las localidades de Suba y Usaquén frente al manejo ambiental del humedal -Bajos niveles de apropiación social de ecosistema por parte de algunos vecinos del humedal	
El Salitre (Abril et al., 2012)	Reducción de estratos vegetales	-Introducción de especies exóticas	-Competencia agresiva de pastos, especies acuáticas y forestales introducidas con la flora local -Déficit hídrico	NO
El Tunjo (Bernal, 2014)	Falta de control y vigilancia del humedal	-Presencia constate de habitantes de calle -Rellenos ilegales de escombros	-Inseguridad -Colmatación y terrización del humedal -Disposición de llantas, quemas y fogatas	NO
	Conexiones erradas	-Descargas del alcantarillado combinado -Estructuras hidráulicas deficientes o nulas -Presión residencial y agropecuaria	-Mala distribución del caudal -Déficit hídrico -Caudal con alto contenido de materia orgánica y elementos inorgánicos -Eutrofización y disminución de los cuerpos de agua	
	Ausencia de valores sociales, económicos y culturales del humedal	-Falta de sentido de pertenencia y educación ambiental	-Bajos niveles de apropiación social de ecosistema por parte de algunos vecinos del humedal	

Tabla 14: Matriz de Conflictos Ambientales de los Humedales de Bogotá D.C. y Propuesta de WC para su recuperación.

12.5. Alternativa de WC en los Humedales de Bogotá D.C.

Los atributos que se destacan en las tecnologías de humedales son principalmente la depuración de un caudal, por lo tanto, las sugerencias que se propusieron, se basan en los aspectos que dicta la SDA (2008) en el Protocolo de recuperación y rehabilitación de humedales en centros urbanos, en relación con la regulación hídrica, ya que los tres tipos de humedales construidos fueron diseñados para mejorar estas condiciones y tienen una relación directa con las actividades que recomienda ejecutar la SDA para superar el déficit hídrico de estos ecosistemas (tabla 15).

Así mismo, las sugerencias sobre el tipo y la ubicación del humedal construido, están condicionadas a los lineamientos que tienen las zonas de manejo (Zonificación Ambiental), establecidas en los planes de manejo ambiental de cada humedal.

Es importante recalcar que las ventajas ecológicas que brindan los sistemas superficiales (**FWS**), fueron un elemento primario para sugerirlos en la recuperación de los humedales naturales que tengan las condiciones apropiadas (disponibilidad de terreno/salud pública).

Regulación hídrica	
Aspectos	Actividades
Mejorar las condiciones de oferta hídrica	-Uso de aguas que provienen de plantas de tratamiento (PTAR) -Uso de aguas que provienen de cuerpos naturales (ríos, quebradas) -Uso de aguas lluvias
Restitución del espejo de agua	-Abrir espacios físicos para el desarrollo de vegetación flotante -infraestructura para evacuar o contener las aguas en temporadas de exceso de lluvia
Control de arrastre de residuos sólidos	-Uso de mallas, rejillas de retención, trampas de basura, sedimentadores, desarenadores
Control de los vertimientos	-Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales -Construcción de sistemas de depuración con macrófitas

Tabla 15: Acciones recomendadas para mejorar la capacidad hídrica en los procesos de recuperación y rehabilitación de humedales urbanos.

Como resultado, a continuación se describirán de manera detallada cada una de las propuestas citadas anteriormente (tabla 14), bajo una visión integral que promueva las ventajas de los humedales construidos (tabla 16), con el fin de contrarrestar la degradación y desaparición de los humedales de Bogotá, de manera que se logre adaptar a las necesidades de cada ecosistema, tomando en cuenta todos los elementos teóricos que se presentaron en cada uno de los capítulos.

VISIÓN INTEGRAL DE LA PROPUESTA						
WC	Ventaja Técnica	Ventaja Económica	Ventaja Ecológica	Ventaja Social	Ventaja Legal	Impacto esperado
FWS	-Fáciles de construir y operar - Remoción alta de DBO5, DQO, SST, patógenos, metales pesado; en menor cantidad nitrógeno y fosforo	-Costos bajos de mantenimiento y operación -Costos elevados por el terreno -No requieren electricidad	-Crean hábitats para la fauna silvestre -Contribuyen a la conectividad ecológica -Se adaptan fácilmente al ecosistema -Aportan un caudal de buena calidad	-Espacio interpretativo o recreativo para la población -Aula de educación ambiental	-Proyectados en los PMA -Efluente con parámetros físicos y químicos bajo la Norma (3927 de 2015)	-Entidades Estatales -Instituciones Académicas -Fincas agropecuarias -Fabricas industriales - Constructoras -Centros comerciales -Plazas de Mercado -Conjuntos residenciales
HSF	-Fáciles de construir y operar - Remoción alta de DBO5, DQO, SST, patógenos, metales pesado; en menor cantidad nitrógeno y fosforo	-Costos de operación y mantenimiento más elevados que los FWS -Costos inferiores por el terreno -La electricidad es opcional	-Aportan un caudal de buena calidad	-Aula de sensibilización y educación ambiental -No hay olores, insectos o moscos.		
VSF	-Remoción alta de DBO5, DQO, SST, patógenos, metales pesados, nitrógeno y fosforo	-Costos de operación y mantenimiento más elevados que los HSF -Costos inferiores por el terreno -La electricidad necesaria	-Aportan un caudal de buena calidad	-Aula de sensibilización y educación ambiental -No hay olores, insectos o moscos.		

Tabla 16: Visión Integral de la propuesta

12.5.1. Humedal La Vaca

Se proponen dos alternativas para mejorar las condiciones ecológicas del humedal, usando las descargas residuales domesticas (CORABASTOS –

viviendas) que ingresan al sector norte, específicamente en el costado oriental en donde se ubica el canal de entrada de agua, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales del humedal, considerando los usos permitidos de esta zona:

1. Mediante un sedimentador, cuyo caudal va ser dispuesto en un **VSF**, el cual descargara su efluente en un **HSF** que finalizara la remoción de fosforo y nitrógeno, debido a que es necesario remover altos contenidos de estos elementos para evitar procesos de eutrofización, el espacio de operación que requieren es pequeño y podrían aportar un caudal de buena calidad al espejo de agua en la parte occidental
2. A través de un sistema vertical, cuyo efluente podría ser dispuesto en un sistema superficial (**FWS**) en la zona oriental, de manera que la remoción de fosforo y nitrógeno sea alta; así mismo, se reestablecería el cuerpo de agua de esta zona y podría contribuir a la conectividad ecológica del espejo de agua en la zona occidental, sin mencionar las otras ventajas ambientales que estos sistemas ofrecen.

Adicionalmente, se propone un humedal superficial (**FWS**) en el sector sur, debido a que no posee un espejo de agua, el espacio es amplio, su uso está proyectado, no tiene alto flujo de población, presenta un alto grado de terrización y no representa condiciones ecológicas favorables para la presencia de fauna.

Bajo estos mismos criterios, se recomienda la construcción de un humedal superficial en el parque que limita con el humedal (suroriente) y que originalmente hacia parte de este; siempre y cuando el afluente que opere sea de origen pluvial o tenga bajos niveles de materia orgánica, ya que es una zona con alto flujo de personas y los olores o mosquitos pueden ser factores que alteren la recreación de los visitantes.

12.5.2. Humedal el Burro

Se proponen dos alternativas para mejorar las condiciones ecológicas, usando las descargas residuales domesticas (CORABASTOS – viviendas) que ingresan al sector oriental, específicamente en el costado oriental en donde se ubica el canal de entrada de agua, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales del humedal, considerando los usos permitidos de esta zona:

1. Mediante un sedimentador como pretratamiento, seguido de un **VSF**, el cual descargara su efluente en un **HSF** que finalizara la remoción de fosforo y nitrógeno, con el fin de remover los altos contenidos de estos elementos y evitar procesos de eutrofización, así mismo, el espacio de operación que requieren es pequeño, podrían aportar un caudal de buena calidad al espejo de agua y no alterarían la estructura morfológica del cuerpo de agua.

2. A través de un humedal de flujo superficial (**FWS**) en el relicto occidental, debido a que el espacio es amplio, su uso es permitido, reestablecería el cuerpo de agua de esta zona, no tiene alto flujo de población, disminuiría la terrización y podría contribuir a la conectividad ecológica, sin mencionar las otras ventajas ambientales que estos sistemas ofrecen.

12.5.3. Humedal de Techo

Se propone la siguiente alternativa para mejorar las condiciones ecológicas, usando las descargas residuales domésticas (viviendas) e industriales que ingresan al humedal, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales del humedal, considerando los usos permitidos en este ecosistema:

1. Implementar humedales de flujo superficial (sector, oriental, occidental y sur), en los cuales se alternen zonas con poca profundidad (0.2 - 0.5 m) y zonas más profundas (1 – 2 m), con el fin de remover los altos contenidos de estos elementos que provocan la eutrofización y ofrecer zonas de descanso o reposo para la avifauna. Así mismo, el espacio es amplio, reestablecería los cuerpos de agua del ecosistema, los asentamientos ilegales se encuentran lejos y podría contribuir a la conectividad ecológica, sin mencionar las otras ventajas ambientales que estos sistemas ofrecen

En cuanto a la población que se estableció al interior del humedal, los procesos de reubicación son a largo plazo, por lo tanto, se propone la segunda alternativa con una visión a corto plazo:

2. Sensibilización y educación sobre el uso de humedales horizontales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, con el fin de implementarlos en las viviendas o canales de aguas negras que han conectado al humedal, disminuyendo los riesgos de salud pública. Así mismo, el espacio de operación que requieren es pequeño y podrían aportar un caudal de buena calidad al espejo de agua

12.5.4. Humedal de Tibanica

Se proponen dos alternativas para mejorar las condiciones ecológicas del humedal, usando las descargas residuales domésticas (viviendas) e industriales que ingresan al ecosistema, específicamente en las estructuras de entrada de agua para cada sector, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales, considerando los usos permitidos de cada sector:

1. A través de un sedimentador, seguido de un humedal subsuperficial de flujo vertical (**VSF**), el cual descargaría su efluente sobre el espejo de agua natural en cada uno de los sectores, aportando un caudal con bajos

niveles de materia orgánica, metales pesados, nitrógeno y patógenos, con lo cual, la oferta hídrica mejora paulatinamente. De igual forma, el espacio de operación que requieren es pequeño, su uso es permitido, reestablecería los cuerpos de agua y no representan un riesgo de salud pública.

2. Mediante un sedimentador, seguido de un humedal subsuperficial de flujo horizontal (**HSF**), el cual descargara su efluente sobre el espejo de agua natural en cada uno de los sectores, aportando un caudal con bajos niveles de materia orgánica, metales pesados, fosforo, patógenos con lo cual, la oferta hídrica podría mejorar periódicamente. Así mismo, el espacio de operación que requieren es pequeño, su uso es permitido, reestablecería los cuerpos de agua y no representan un riesgo de salud pública.

12.5.5. Humedal La Isla

Se propone la siguiente alternativa para aprovechar las aguas lluvias y amortiguar las crecidas del Rio Bogotá, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales del humedal, considerando los usos permitidos que se le ha dado al reciente ecosistema:

1. Implementar uno o varios humedales de flujo superficial (**FWS**), debido a que no posee un espejo de agua, el espacio es amplio, su uso está proyectado, no tiene alto flujo de población, presenta un alto grado de terrización y no representa condiciones ecológicas favorables para la presencia de fauna. Así mismo, es importante recordar que se deben alternar zonas con poca profundidad (0.2 - 0.5 m) y zonas más profundas (1 – 2 m), con el fin de remover los altos contenidos de estos elementos que provocan la eutrofización y ofrecer zonas de descanso o reposo para la avifauna.

12.5.6. Humedal de Capellanía

Se propone la siguiente alternativa para mejorar las condiciones ecológicas del sector occidental, usando el caudal que proviene del alcantarillado combinado (canal Fontibón) y el cuerpo de agua de la zona oriental del relicto, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales del humedal, considerando los usos permitidos que se le ha dado a este ecosistema:

Construir tres humedales de flujo superficial (**FWS**), los cuales se ubicarían de la siguiente manera: el primero en la mitad de la zona occidental que colinda con la avenida esperanza y los conjuntos residenciales del barrio Cofradía. El segundo en la mitad del relicto y el último en la mitad de la zona suroccidental que limita con los conjuntos residenciales que se ubican al frente del Parque del Ruby y Reservas de San Alberto.

Se recomienda utilizar una parte del caudal del espejo de agua que se ubica en la zona nororiental y otra parte que provenga del canal Fontibón, con el fin de conectarlo al primer sistema superficial, el cual descargara su efluente en el humedal de la zona central que a su vez descargara su caudal en el último **FWS** de la zona suroccidental del relicto.

Debido a que, la disponibilidad de espacio es amplia, el uso de estos sistemas es permitido, reestablecería las condiciones hídricas de la zona, no tiene alto flujo de población, disminuiría la terrización y podría contribuir a la conectividad ecológica, sin mencionar las otras ventajas ambientales que estos sistemas ofrecen.

Adicionalmente, se propone un sistema híbrido de humedales de flujo subsuperficial para mejorar las condiciones ecológicas del sector norte, usando como afluente las descargas residuales industriales que se realizan en este sector. A través de un sedimentador, seguido de un **VSF**, cuyo efluente será dispuesto en un **HSF**, debido a que el espacio disponible es poco y estos sistemas requieren poca área, no representan un riesgo de salud para la población que los rodearía, generan un caudal con bajos contenidos de materia orgánica, metales pesados, patógenos, fósforo, nitrógeno y ayudaría a restablecer el espejo de agua que existía originalmente.

12.5.7. Humedal meandro del Say

Se proponen dos alternativas para mejorar las condiciones ecológicas del humedal, usando las descargas residuales domésticas (viviendas), industriales y agropecuarios que ingresan al humedal, específicamente en las estructuras de entrada de agua para, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales, considerado los usos permitidos de cada sector:

1. A través de un sedimentador, seguido de un humedal subsuperficial de flujo vertical (**VSF**), el cual recibirá las aguas residuales industriales (Fabricas, fincas) y descargara su efluente sobre el humedal, aportando un caudal con bajos niveles de materia orgánica, metales pesados, nitrógeno y patógenos, con lo cual, la colmatación que presenta puede disminuir periódicamente y ayudaría a reestablecer los cuerpos de agua temporales o permanentes que formaban las inundaciones del Rio Bogotá en el sistema original.

De igual forma, el espacio de operación que requieren es pequeño, su uso es permitido, no representan un riesgo de salud pública y podría ser promovida para que las fábricas y actividades agropecuarias que limitan en el norte, sur y oriente del ecosistema, aporten un manejo sostenible de sus descargas residuales mediante estos sistemas.

2. Construir un **FWS**, con un área extensa en la zona occidental del humedal que limita con el Rio Bogotá, usando las aguas residuales industriales

(Fabricas, fincas), con el fin de extender los cuerpos de agua que se encuentran en esta zona, amortiguar las crecidas del rio, aportar un caudal de buena calidad, disminuir la terrización y contribuir a la conectividad ecológica, sin mencionar las otras ventajas ambientales que estos sistemas ofrecen.

12.5.8. Humedal de Jaboque

Se propone las siguientes alternativas para mejorar las condiciones ecológicas del sector uno, usando el caudal que proviene del alcantarillado combinado (Canal Jaboque, Canal El Carmelo), con el fin de afrontar la desconexión hídrica que han originado algunos terraplenes, considerando los usos permitidos que se le ha dado a este ecosistema:

Construir tres humedales de flujo superficial (**FWS**), los cuales se ubicarían de la siguiente manera: el primero en la mitad del extremo noroccidental que colinda con el Rio Bogotá, el antiguo cauce de este rio y el terraplén que desconecta esta zona con el centro del relicto. El segundo en la mitad del relicto y el último en la zona suroriental que limita con el barrio San José y las fincas agrícolas. Se recomienda descargar los efluentes en los cuerpos de agua del humedal, con el fin de mejorar la calidad hídrica, amortiguar las crecidas del rio, aportar un caudal de buena calidad, disminuir la terrización y contribuir a la conectividad ecológica, sin mencionar las otras ventajas ambientales que estos sistemas ofrecen.

Para el fragmento del sector dos, se proponen las siguientes dos alternativas:

1. A través de un sedimentador, seguido de un humedal subsuperficial de flujo vertical (**VSF**), el cual recibirá las aguas residuales (domesticas, agrícolas) y descargara su efluente sobre el humedal, aportando un caudal con bajos niveles de materia orgánica, metales pesados, nitrógeno y patógenos, con lo cual, la colmatación que presenta puede disminuir periódicamente y ayudaría a reestablecer los cuerpos de agua temporales o permanentes que formaban las inundaciones de los canales (antiguos ríos) en el sistema original.
2. Mediante un sedimentador, seguido de un humedal subsuperficial de flujo horizontal (**HSF**), el cual descargara su efluente sobre el espejo de agua natural en cada uno de los sectores, aportando un caudal con bajos niveles de materia orgánica, metales pesados, fosforo, patógenos con lo cual, la oferta hídrica podría mejorar periódicamente. Así mismo, el espacio de operación que requieren es pequeño, su uso es permitido, ayudaría a reestablecer los cuerpos de agua y no representan un riesgo de salud pública.

Finalmente se propone uno o varios humedales subsuperficiales de flujo vertical (VSF) para el sector tres, debido a que los niveles de eutrofización que presentan los cuerpos de agua son muy altos, por lo tanto, la remoción de nitrógeno va ser el principal elemento para depurar.

De igual forma, el espacio de operación que requieren es pequeño, su uso es permitido, no representan un riesgo de salud pública y podría ser promovida para que las fincas agrícolas que descargan sus aguas al ecosistema, aporten un manejo sostenible de sus aguas residuales mediante estos sistemas.

12.5.9. Humedal Santa María del lago

Se proponen la siguiente alternativa para mejorar las condiciones ecológicas del humedal, usando las descargas residuales domesticas (viviendas), industriales (talleres automotriz) que ingresan al humedal, específicamente en las cuatro estructuras de entrada de agua, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales, considerado los usos permitidos para este ecosistema.

Construir tres sistemas verticales (**HSF**) que reciba las descargas del alcantarillado combinado y se ubiquen en tres de las cuatro entradas de caudal, con el fin de remover altos contenidos de materia orgánica, patógenos, fosforo y en menor cantidad nitrógeno para evitar procesos de colmatación. Así mismo, el espacio de operación que requieren es pequeño, podrían aportar un caudal de buena calidad al espejo de agua y no alterarían negativamente la estructura morfológica del cuerpo de agua.

Adicionalmente, se recomienda construir un **VSF** que reciba las descargas del alcantarillado combinado y las descargas residuales industriales en la estructura de entrada restante, debido a que estos sistemas presentan un mejor desempeño para depurar grasas, aceites y metales pesados.

También, podría aportar un caudal con bajos niveles de materia orgánica, patógenos, nitrógeno, el espacio de operación que requiere es pequeño, no representan un riesgo de salud pública y no alteraría la estructura vegetal del ecosistema.

12.5.10. Humedal Juan Amarillo

Se proponen dos alternativas con sistemas subsuperficiales para los sectores tercio alto y medio del fragmento principal, con el fin de mejorar las condiciones ecológicas de los espejos de agua, usando el caudal que proviene del alcantarillado combinado (Canal El Salitre), específicamente en las estructuras de entrada de agua u opcionalmente con parte del caudal de la laguna principal (laguna 1), con el fin de afrontar las problemáticas ambientales, teniendo en cuenta los usos permitidos de cada sector:

Sector tercio alto

1. Construir un sedimentador, seguido por un **VSF**, al final del brazo occidental de la Laguna 1, aportando un caudal con bajos niveles de materia orgánica, metales pesados, nitrógeno y patógenos, contrarrestando la colmatación que presenta esta zona, incorporándolos

a los usos que se proyectan para reestablecer los cuerpos de agua temporales o permanentes que se formaban con el desbordamiento del Rio Juan Amarillo (Canal Salitre) o la lluvia en el sistema original.

2. La sugerencia anterior pero con un humedal subsuperficial de flujo horizontal, principalmente por sus costos económicos inferiores.

Sector tercio medio

Se proponen las mismas dos alternativas que en el sector tercio alto, basándose en los mismos criterios o ventajas que se nombraron. Este humedal se ubicaría en la desembocadura del Canal Salitre y el Canal que proviene del otro relicto del humedal, en la zona central que colina con los barrios Rincón Boyacá y Atenas de Suba.

Sector tercio bajo

Se propone la siguiente alternativa con un sistema superficial (**FWS**) de gran extensión, que se ubique en la zona central del extremo occidental del fragmento, entre los barrios Lisboa (Suroeste), San Pedro (Oeste) y Berlín (Noreste), usando el caudal que proviene del alcantarillado combinado (Canal El Salitre), específicamente en las estructuras de entrada de agua, con el fin de afrontar la fuerte colmatación que existe en esta zona, incorporándolo a los usos que se proyectan para este ecosistema:

El efluente puede ser descargado en el Canal Salitre o directamente en el humedal, con el fin de restablecer las condiciones hídricas del lugar, amortiguar las crecidas canal, aportar un caudal de buena calidad, disminuir la terrización y contribuir a la conectividad ecológica, sin mencionar las otras ventajas ambientales que estos sistemas ofrecen

Adicionalmente, se propone articular estas tecnologías de humedales a los procesos de tratamiento que se realizan en la **PTAR** El Salitre, con el fin de disminuir los costos de operación y mantenimiento, promover el uso de alternativas sostenibles, generar un caudal de buena calidad y generar grandes ventajas ambientales, en especial la conectividad con el Rio Bogotá y los espejos de agua del humedal.

Fragmento Nororiental

Se propone la siguiente alternativa para mejorar el estado ecológico que presenta este relicto que se encuentra en fraccionado en dos sectores, usando el caudal que proviene del alcantarillado combinado (Canal sector norte), con el fin de afrontar la degradación ambiental, teniendo en cuenta los usos permitidos para este sector:

Construir un sistema híbrido en el extremo norte del relicto, compuesto por un sedimentador, seguido por un **VSF**, cuyo efluente va tener bajos contenidos de materia orgánica, metales pesados, patógenos y nitrógeno. Este efluente va ser descargado en un **HSF**, el cual se encargara de producir un caudal con una

remoción total de nitrógeno, materia orgánica, patógenos, metales pesados y bajos contenidos de fosforo.

A través de esta sugerencia, las condiciones hídricas de este relicto pueden mejorar, evitando la terrización avanzada que presenta, operando en un área pequeña y sin alterar negativamente la tipología del ecosistema.

12.5.11. Humedal de Córdoba

Se propone la siguiente alternativa para el sector uno que no posee un espejo de agua permanente:

Construir un humedal de flujo superficial (**FWS**) de gran extensión, que se ubique en la zona central este relicto, al frente de las casas residenciales de Niza Real, usando el caudal que proviene del alcantarillado combinado (Canal Córdoba), ya que su uso es una alternativa proyectada y contrarrestaría el alto grado de terrización que presenta esta parte del humedal.

El efluente puede ser descargado en el Canal o directamente en el humedal, con el fin de restablecer las condiciones hídricas del lugar, amortiguar las crecidas canal en temporadas de invierno, aportar un caudal de buena calidad y contribuir a la conectividad ecológica, entre otras ventajas ambientales que estos sistemas ofrecen.

El sector dos posee el cuerpo de agua con mejores condiciones ecológicas y adecuaciones hidráulicas para su recuperación, sin embargo la mayor parte del caudal que sigue ingresando, proviene de alcantarillado combinado y en ocasiones con descargas residuales industriales, por lo tanto se proponen humedales con flujo subsuperficial para mejorar la calidad hídrica del espejo de agua, sin ocupar mucho espacio y que no represente un riesgo de salud pública, ya que este sector tiene habilitados senderos y vayas interpretativas para los visitantes.

Bajo estos criterios, se propone construir un **VSF** que se ubique en la zona norte del relicto (Cl. 127 - Av. Córdoba) usando el caudal que proviene del alcantarillado combinado (Canal Córdoba – Canal Callejas), de manera que se logre aportar un caudal al espejo de agua con bajos niveles de materia orgánica, metales pesados, patógenos y nitrógeno, contrarrestando la eutrofización del lago.

Finalmente, en el sector tres se propone un sistema híbrido, debido a la fuerte carga orgánica que tiene el caudal que ingresa a esta zona, producto de la unión del canal Callejas y Córdoba al sur del sector dos.

Está compuesto por un **VSF**, que se debe ubicar en la entrada de agua de este sector (Av. Suba – Cl. 118), el cual producirá un efluente con bajos contenidos de materia orgánica, metales pesados, patógenos y nitrógeno. Luego, este caudal va ser descargado en un **HSF**, el cual se encargara de eliminar el fosforo y nitrógeno restante, así como materia orgánica, patógenos y metales pesados.

Adicionalmente, se propone articular estas tecnologías de humedales a la disposición de aguas residuales que tiene el Club Choquenzá, con el fin de disminuir los costos de operación y mantenimiento, promover el uso de alternativas sostenibles, generar un caudal de buena calidad es un espacio reducido.

12.5.12. Humedal La Conejera

Se proponen dos alternativas para el sector oriental del humedal, a través de sistemas de flujo subsuperficial, los cuales se ubicarían en el extremo oriental, es decir, en el punto donde la Quebrada La Salitrosa ingresa al humedal (Carrera 106ª); de manera que los altos contenidos de materia orgánica, metales pesados y grasas que tiene el caudal de esta quebrada, va ser el afluente que se va a depurar para las dos alternativas, con el fin de mejorar la corriente hídrica que va recorrer el resto del humedal.

1. Construir un sedimentador, seguido por un **HSF**, debido a que este sistema no representa un riesgo de salud para las personas que transitan esta área, su operación y mantenimiento es mínimo, sus costos son inferiores a los sistemas verticales y va aportar un caudal con bajos contenidos de materia orgánica, metales pesados, patógenos, fosforo y en menor cantidad nitrógeno.
2. Construir un sistema híbrido compuesto por un sedimentador, seguido de un **VSF**, que debe ubicarse en la entrada de agua de este sector (Carrera 106ª – Cl. 157), el cual producirá un efluente con bajos contenidos de materia orgánica, metales pesados, patógenos y nitrógeno. Luego, este caudal va ser descargado en un **HSF**, el cual se encargara de eliminar el fosforo y nitrógeno restante, así como materia orgánica, patógenos y metales pesados en porcentajes cercanos al 100%.

En el sector medio del humedal, se propone la siguiente alternativa para mejorar las condiciones hídricas de esta área, basándose en las ventajas que se nombraron anteriormente para los sistemas horizontales:

Construir un **HSF** y usar el caudal que proviene de las descargas residuales agropecuarias y domesticas que ingresan por el canal que se ubica en la zona occidental del relicto, específicamente en el punto donde el ecosistema gira en dirección sur-oeste y disponer su efluente directamente en el humedal, con el fin de reestablecer los cuerpos de agua temporales o permanentes que forman el sistema original, contribuyendo a los usos que se proyectan para esta área.

Finalmente en el sector occidental que limita con el Rio Bogotá, se propone construir un humedal de flujo superficial (**FWS**) de gran extensión, usando el caudal que proviene de la salida del humedal, ya que hay espacio suficiente para este sistema, su uso es una alternativa proyectada en el PMA, su costo económico es el más bajo de todos (si el predio es propiedad del Distrito Capital) y se incorpora fácilmente al entorno del ecosistema.

El efluente puede ser descargado en alguno de los canales de salida del humedal o al Río Bogotá, con el fin de amortiguar el exceso de agua del río y los canales en temporadas de invierno, aportar un caudal de buena calidad y contribuir a la conectividad ecológica, entre otras ventajas ambientales que se describieron en el capítulo nueve.

Adicionalmente, se propone articular estas tecnologías de humedales a la disposición de aguas residuales que tienen las actividades agropecuarias, con el fin ofrecerles un sistema con bajos costos de operación y mantenimiento, están promoviendo el uso de alternativas sostenibles y por último aportando un caudal de buena calidad es un espacio reducido.

12.5.13. Humedal Torca – Guaymaral

Se proponen las siguientes alternativas para el sector de Guaymaral, usando un caudal de carácter combinado del Canal Torca y otras quebradas que ingresan al humedal, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales que presenta este relicto, teniendo en cuenta los usos permitidos de cada zona:

Zona Norte

Se propone un sistema de flujo subsuperficial, debido a que los altos contenidos de materia orgánica y agroquímicos que tiene el caudal que recorre esta zona (Unión de quebradas y Canal Torca) puede representar un riesgo en la salud de la fauna silvestre para el uso de un sistema superficial y no va requerir electricidad como un sistema vertical.

Este sistema podría ubicarse en el área que limita con la parte suroccidental de Centro Comercial BIMA, en el costado occidental del Canal y estaría compuesto por un sedimentador, seguido de un **VSF** o **HSF**, el cual produciría un efluente con bajos contenidos de materia orgánica, metales pesados, patógenos y nitrógeno.

Finalmente, este caudal va ser descargado en el humedal, específicamente en el área donde el espejo original se encuentra en un alto grado de colmatación y la terrización es muy avanzada.

Zona Central

Se propone la alternativa para la zona norte, basándose en los mismos criterios o ventajas que se nombraron. Este sistema se ubicaría en la parte central del fragmento, en el costado oriental del Canal a la altura de la Calle 224 y descargaría su efluente en el humedal, específicamente en el área donde el espejo original se encuentra en un alto grado de colmatación y la terrización es muy avanzada.

Zona Sur

Se propone construir un sistema híbrido, compuesto por un sedimentador, seguido de un **VSF**, que podría ubicarse en el costado oriental de la Quebrada San Juan, entre las calles 222 y 218, el cual producirá un efluente con bajos contenidos de materia orgánica, metales pesados, patógenos y nitrógeno.

Luego, este caudal va ser descargado en un **FWS** de gran extensión, el cual se encargara de eliminar el fosforo y nitrógeno restante, así como materia orgánica, patógenos, metales pesados en porcentajes cercanos al 100%. Así mismo, la formación del espejo de agua, amortiguara el exceso de agua de en temporadas de invierno, su uso es una alternativa proyectada en el PMA, su costo económico es el más bajo de todos los WC (si el predio es propiedad del Distrito Capital), aportaría un caudal de buena calidad, reestablecería los cuerpos de agua originales y se incorpora fácilmente al entorno del ecosistema.

Adicionalmente, se propone articular estas tecnologías de humedales para el tratamiento de las aguas residuales generadas por la Universidad de Ciencias Aplicadas y ambientales U.D.C.A., con el fin de promover sistemas sostenibles de bajos costo que generan caudales de buena calidad y generan ventajas ecológicas.

Sector Torca

Se proponen las siguientes alternativas para el sector de Torca, usando un caudal de carácter combinado del Canal Torca y otras quebradas, con el fin de afrontar las problemáticas ambientales que presenta este relicto, teniendo en cuenta los usos permitidos de cada zona:

Zona Norte

Se propone construir un sedimentador, seguido por un sistema subsuperficial de flujo horizontal, debido a que los altos contenidos de materia orgánica y agroquímicos que tiene el caudal que ingresa a esta zona (Quebrada San Juan) puede representar un riesgo en la salud de la fauna silvestre y la población que circula en esta zona para el uso de un sistema superficial (FWS) sin necesidad de usar un sistema eléctrico.

Este sistema podría ubicarse en el extremo norte del fragmento, en el punto donde ingresa la quebrada San Juan y estaría compuesto por un sedimentador, seguido de un **VSF** o **HSF**, el cual produciría un efluente con bajos contenidos de materia orgánica, metales pesados, patógenos y nitrógeno. Posteriormente, este caudal puede ser descargado en el humedal, específicamente en el área donde el espejo original se encuentra en un alto grado de colmatación y la terrización es muy avanzada.

Zona Central

Se propone la alternativa sugerida para la zona norte, basándose en los mismos criterios o ventajas que se nombraron. Este sistema se ubicaría en la parte

central del fragmento, en el costado occidental de la autopista, en el punto donde la Quebrada Patiño ingresa al humedal. El efluente sería descargado, en el espejo original, el cual presenta un alto grado de colmatación y la terrización es muy avanzada.

Zona Sur

Se propone la misma alternativa sugerida para la zona norte, basándose en los mismos criterios o ventajas que se nombraron. Este sistema se ubicaría en la zona sur del fragmento, en el costado occidental de la autopista, en el punto donde la Quebrada Aguas Calientes se une al Canal Torca (ambos caudales muy contaminados) e ingresa al humedal para finalmente ser descargado en el espejo original de esta área.

12.5.14. Humedal El Salitre

Este humedal es producto de un lago artificial, es decir, comparte varias características con un **FWS** y es el único que no presenta conexiones erradas, de manera que la calidad hídrica es bastante buena y su diversidad biológica sigue en aumento; ahora bien, es importante resaltar el origen de este humedal, ya que es un ejemplo de la facilidad que tienen los humedales de flujo superficial para integrarse a los ecosistemas, aportando grandes ventajas ambientales y bajos costos de operación y mantenimiento.

Bajo estas características no es necesario construir otro sistema artificial, sino que las acciones de este reciente humedal, deben estar encaminadas a extender la cobertura vegetal acuática y semiacuática, así como la vegetación arbórea de la riberia del humedal y las zonas aledañas, de manera que la distribución hídrica sea más estable y el espejo de agua sea menos vulnerable a perder su área.

12.5.15. Humedal El Tunjo

No se propone ninguna alternativa, debido a que los linderos del humedal aún no han tenido su versión final, así como la formulación y aprobación de su Plan de Manejo Ambiental (PMA), por lo tanto la zonificación ambiental del humedal no existe y puede ser que las sugerencias con los sistemas “naturales” de tratamiento (WC) no sean compatibles con los usos que le van a asignar a este ecosistema.

En síntesis, los humedales construidos son una alternativa con una gran proyección muy importante para mejorar las condiciones hídricas o ecológicas de los humedales naturales, a través de un sistema sostenible, el cual no es ajeno a las visiones en el manejo distrital de estos ecosistemas, ya que en la mayoría de los planes de manejo, estos sistemas son sugeridos bajo el mismo objetivo que en este documento se han propuesto.

Finalmente, estas sugerencias no deben limitarse a los proyectos de recuperación ecológica del Distrito Capital, también podría ser promovidos en los

municipios que rodean a la Ciudad, debido a que la formación geológica a la que pertenecen es la misma de Bogotá (Sabana de Bogotá) y los procesos de desarrollo que se están presentando en estos lugares, están generando las mismas presiones antrópicas que han afectado a los humedales capitalinos pero en menor escala.

CONCLUSIONES

Los humedales construidos (FWS) son una buena alternativa para depurar aguas residuales y generar ventajas ambientales que pueden contribuir a la recuperación de los humedales naturales, teniendo costos económicos bajos en cuanto a la instalación, energía (sistemas subsuperficiales), operación y mantenimiento.

La literatura citada para el dimensionamiento biológico de los humedales construidos, se basa en un modelo de reacción de primer orden y los diseños hidráulicos para los sistemas subsuperficiales se basan en la ley de Darcy; a partir de esta teoría matemática, la construcción de estos humedales se puede adaptar a varios tipos de contaminantes (nitrógeno, fósforo, materia orgánica, metales pesados) con el fin de incorporarlos a los diferentes tipos de caudales que se presentan en la ciudad de Bogotá,

A pesar de que la mayoría de la literatura ha estado direccionada a las experiencias Europeas y Norteamericanas para el tratamiento y control total de las aguas residuales, es importante destacar que estos sistemas ya se están incorporando a los procesos de recuperación ecológica sugeridos por la Secretaría Distrital de Ambiente, SDA para algunos humedales de Bogotá y a nivel nacional hay varias experiencias para el tratamiento de aguas residuales de actividades agropecuarias con sistemas subsuperficiales.

No obstante, esta tecnología aún es muy poco conocida en Colombia y a nivel de la Sabana de Bogotá sigue imperando la construcción de modernas o precarias plantas de tratamiento de aguas residuales, PTAR con costos elevados de implementación, operación y mantenimiento.

En el caso de Bogotá, la creación artificial de los humedales Meandro del Say y El Salitre, muestran el potencial de adaptación y recuperación ecológica que tienen los humedales construidos, no solo por las ventajas ecológicas, económicas, sociales, técnicas y jurídicas, sino por el cambio jurídico, académico y comunitario que se ha creado en el siglo XXI, cambiando la dinámica de perder área de humedales a crear estrategias de extensión, sujetas a manuales de recuperación, rehabilitación y restauración ecológica, realizados por las mejores Universidades de Bogotá en convenio con La Alcaldía Mayor de Bogotá.

Finalmente, la degradación ambiental que presentan los humedales de Bogotá actualmente sigue siendo alta, por lo tanto, es de vital importancia que las estrategias de recuperación ecológica como la que se presentó en este documento, se implemente de manera ordenada y periódica, con el fin de afectar en menor proporción al humedal durante la ejecución de estas propuestas y así garantizar su conservación en el tiempo.

RECOMENDACIONES

Es importante sensibilizar y promover el uso de sistemas y energías alternativas para el tratamiento de aguas residuales, producidas por las actividades antrópicas que vierten sus residuos directamente a los humedales o través de los canales (antiguos ríos o quebradas).

Sensibilizar y educar a la población en general sobre la destrucción y transformación a la que han sido sometidos los humedales bogotanos a lo largo de su historia y como se ha tenido que articular humedales artificiales para ayudar a conectar o mejorar la estructura hídrica original de la ciudad

La construcción de los humedales, debe estar sujeta a un diagnóstico interdisciplinario, de manera que todos los actores directos e indirectos del proyecto (actor privado o público, académico, comunitario, entre otros.), lo conozcan, lo aprueben, lo valoren y se genere un sentido de pertenencia que contribuya a la conservación del sistema

BIBLIOGRAFÍA

1. Abril, E. (2014). Humedal El Salitre: un ejemplo exitoso de la defensa de los humedales de Bogotá. Revista digital *Fulica*. Ed. 1.
2. Abril, E., Barragán, D. y Pachón, C. (2012). Bird Monitoring to Conserve Salitre Wetland in Bogotá: Strengthening Local Efforts in Conservation. *Journal of Environmental Science and Engineering*. B1 (1162 – 1166)
3. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (28 de julio de 2000). Plan de Ordenamiento Territorial. [Decreto 619 del 2000]. DO: 2197.
4. Alcaldía Mayor de Bogotá. (26 de Agosto de 2013). "Modificación excepcional de las normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. adoptado mediante Decreto Distrital 619 de 2000". [Decreto 364 de 2013]. Suspendido provisionalmente por Auto CE 624 de 2014.
5. Alcaldía Mayor de Bogotá. (9 de junio de 2009). Control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado pública. [Resolución 3957 de 2009]. DO: 4236.
6. Alcaldía Mayor de Bogotá. (4 de abril de 2006). Defensa y protección de la Reserva Forestal Protectora "Bosque Oriental de Bogotá". [Decreto 122 de 2006]. DO: 3515.
7. Alcaldía Mayor de Bogotá. (28 de diciembre de 2007). Política de Humedales del Distrito Capital. [Decreto 624 de 2007]. DO: 3902.
8. Alcaldía Mayor de Bogotá. (30 de abril de 2008). Plan de desarrollo económico, social, ambiental y de obras públicas. [Acuerdo 305 de 2008].
9. Álvarez, A., Bécares, E. (2011). Influencia de la vegetación sobre la eliminación de bacterias en humedales de flujo superficial. *Bistua*. No. 1. pp. 16 – 20.
10. Asociación Bogotana de Ornitología. (2000). Aves de la Sabana de Bogotá, guía de campo. Colombia. ABO, CAR.
11. Andrade, G. (2003). Lagos y Humedales del Altiplano de Cundinamarca y Boyacá. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Acueducto de Bogotá & Conservación Internacional. Vol. I. Bogotá.
12. Andriessen, P.A.M., K.F. Helmens, H. Hooghiemstra, H. Riezebos & T. Van der Hammen. (1993). Absolute chronology of the Pliocene-

Quaternary sediment sequence of the Bogotá area, Colombia. *Revista Quaternary Science Reviews*. Núm.12: pp. 483 - 501.

13. Arenas, S., Nuncira, A. (2010). Evaluación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales del sector industrial avícola. Monografía de especialización. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
14. Arias, C., Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. Vol. 13. pp. 17 – 24.
15. Arias, C.A. & Brix, H. (2005). Phosphorus removal in constructed wetlands: can suitable alternative media be identified? *Water Science Technology*. No. 9. pp. 275 - 282.
16. Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., Hernández, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*. Vol. 74. pp. 12 – 22.
17. Barrera, J.I., S.M. Contreras, N.V. Garzón, A.C. Moreno & S.P. Montoya. (2010). Manual para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas Disturbados del Distrito Capital. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). Bogotá, Colombia.
18. Barrera F., Elizalde P., Moraga S., Oporto A., Pulgar C., San Martín I., Sepúlveda, G & Serrey I. (2009). Ecosistemas públicos, red de humedales y esteros urbanos de Placilla, Valparaíso: Una propuesta urbano-ambiental de recuperación de barrios. *Revista De Arquitectura*. Núm. 19. pp. 25 - 34.
19. Bedoya, J.C., Ardila, A. & Reyes, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Internacional de Contaminación Ambiental*. No. 30. pp. 275 – 283.
20. Bernal, D. (2014). Fundación Humedales de Bogotá. Bogotá D.C. Humedal La Isla. Recuperado de: <http://humedalesbogota.com/2014/02/11/humedal-la-isla/>.
21. Bernal, D. (2014). Fundación Humedales de Bogotá. Bogotá D.C. Humedal El Tunjo. Recuperado de: <http://humedalesbogota.com/2014/12/11/dos-nuevos-regalos-para-bogota-humedales-el-tunjo-y-la-isla/>

22. Bernal, J. (2008). Sabana de Bogotá: el conflicto por los recursos naturales y la situación ecológica. En: Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia.
23. Borrero, J. (1999) Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Tesis de Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental. Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
24. Botiva Contreras, A., A. Groot de Mahecha., I. Herrera & M. Santiago. (1989). Colombia Prehispánica: regiones Arqueológicas. Bogotá. Colcultura. Instituto Colombiano de Antropología.
25. Brix, H. (1994). The Role of Wetlands for the Control of Pollution in Rural Areas. Design and Use of Constructed Wetlands. Curso CIHEAM-IAWQ. Zaragoza.
26. Broadbent, S. (1965). Investigaciones Arqueológicas en el Territorio Chibcha. Bogotá. Antropología 1. Ed. De la Universidad de los Andes.
27. Broadbent, S. (1971). Reconocimiento arqueológico de la laguna de la Herrera. *Revista Colombiana de Antropología*. Vol. XV. 171 - 213.
28. Brown, D.S. & Reed, S.C. (1994). Inventory of constructed wetlands in the United States. *Water Science and Technology*. No.4. pp. 309 - 318.
29. Calvachi, B. (2003). La fauna en los Humedales de Bogotá y la Sabana. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Acueducto de Bogotá & Conservación Internacional. Vol. I. Bogotá.
30. Calvachi, B. (2003). Una aproximación al conocimiento actual de humedales, lagunas y embalses de Bogotá y la Sabana. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Conservación Internacional. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Vol. I. Bogotá.
31. Camargo, G. (2003). Enfoque ecosistémico en el manejo de los humedales bogotanos. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Conservación Internacional. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Vol. I. Bogotá.
32. Cardale de schrimpee, M. (1976). Investigaciones arqueológicas en la zona de Pubenza, Tocaima, Cundinamarca. *Revista Colombiana de Antropología*. Vol. XX.

33. Cardale de schrimpee, M. (1981). Las Salinas de Zipaquirá, su explotación Indígena. Bogotá. Fundación de Investigaciones Arqueológicas del Banco de la República.
34. Carvalho P., Thomaz S., Kobayashi J & Bini L. (2013). Species richness increases the resilience of wetland plant communities in a tropical floodplain. *Revista Austral Ecology*. Núm. 38. pp. 592 - 598.
35. Castañeda, C.M, Castañeda, L.F., Gonzales, C., Villanueva, S., Valero, J. (2016). Análisis del estado hídrico del Humedal Tibanica y alternativas de compensación hidrológica. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Especialización en Recursos Hídricos. Bogotá.
36. Cavalier, I. (2006). Perspectivas Culturales y cambios en el uso del paisaje. Sabana de Bogotá Colombia, Siglos XVI y XVII. En: AGRICULTURA ANCESTRAL CAMELLONES Y ALBARRADAS: Contexto social, usos y retos del pasado y del presente. Tomo III. Actas y Memorias. IFEA. Quito, Ecuador.
37. Chaparro, B. (2003). Reseña de la vegetación en los humedales de la Sabana de Bogotá. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Acueducto de Bogotá & Conservación Internacional. Vol. I. Bogotá
38. Cleef, A.M. (1981). The vegetation of the Paramos of the Colombian Cordillera Oriental. *Revista Dissertationes Botanicae*. 320p. Recuperado de https://issuu.com/jpintoz/docs/1981_cleef_paramos-col-cordillera-oriental.
39. Concejo de Santa Fe de Bogotá D.C. (9 de septiembre de 1996). Estatuto General de Protección Ambiental del Distrito Capital de Santa Fe de Bogotá. [Acuerdo 19 de 1996]. DO: 1259.
40. Congreso de Colombia. (2 de diciembre de 1993). Política Ambiental Colombiana. [Ley 99 de 1993]. DO: 41.146.
41. Constitución Política de Colombia [Const.] 1991. Artículo 79 [Titulo III]. 2da Ed. Legis.
42. Cooper, P., Job, G., Green, M., Shutes, R. (1996). Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. WRc, Swindon, UK.
43. Cooper, P. (2005). The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates. *Water Science and Technology*. No.9. pp. 91 - 97.

44. Cooper, P. (2005b). Wetland systems for water pollution control. *Water Science and Technology*. No.9. pp. 81 - 90.
45. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2011). Humedales del territorio CAR. Consolidación del sistema de Humedales de la Jurisdicción CAR. Bogotá.
46. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) & Secretaria Distrital de Ambiente (SDA). (2015). Plan de Manejo Ambiental Humedal Torca y Guaymaral. Bogotá D.C.
47. Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR). Conservación Internacional (CI). Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2015). Plan de Manejo Ambiental Humedal Meandro del Say (2da Versión).
48. Correa, F. (2004). El Sol del Poder. Simbología Política entre los Muisca del Norte de los Andes. Bogotá. Universidad nacional de Colombia. 422 p.
49. Correa, F. (2005). Sociedad y Naturaleza en la Mitología Muisca. *Revista Tabula Rasa*. Núm. 3. pp. 197 - 222.
50. Correal Urrego, G. (1981). Evidencias culturales y megafauna Pleistocénica en Colombia. Bogotá. Fundación de investigaciones Arqueológicas Nacionales. Banco de la Republica.
51. Correal Urrego, G., & Pinto, M. (1983). Investigación arqueológica en el Municipio de Zipacón. Bogotá. Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales. Banco de la República.
52. Cramer, V. (1979). Vegetation of the area of high plain of Bogotá. En *Desertation Botanicae*.
53. Cristancho, H. & Leon, N. (2008). Las transformaciones de los espacios rurales del norte de Bogotá (1985-2005). En: Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia.
54. Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw Hill. Colombia.
55. Cruz, E. (2015). Identificación y valoración socio ecológica de bienes y servicios ecosistémicos del humedal La Vaca (Bogotá, Cundinamarca). Tesis de especialización. Universidad Santo Tomas. Bogotá.

56. DAMA. (2000). Historia de los Humedales de Bogotá con énfasis en cinco de ellos. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá.
57. Davidson T., Mackay M., Wolsky P., Mazebedi R., Murray-Hudson M & Todd M. (2012). Seasonal and spatial hydrological variability drives aquatic biodiversity in a flood-pulsed, sub-tropical wetland. *Revista Freshwater Biology*. Núm. 57. pp. 1253 - 1265.
58. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la gestión y uso del agua. Bolivia.
59. Díaz, C. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil. Universidad Santo Tomas. Tunja.
60. Eger, P., (1994). Wetland treatment for trace metal removal from mine drainage: the importance of aerobic and anaerobic processes. *Water Science and Technology*. No. 4. pp. 249 - 256.
61. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (1984). Nuestra empresa. Bogotá.
62. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) & Conservación Internacional (CI). (2010). Plan de manejo Ambiental Humedal Juan Amarillo.
63. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). (2012). Humedal de Torca. Bogotá D.C.
64. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). (s.f.). Ventana Ambiental – Humedales. Bogotá D.C. Humedal Santa María del Lago. Recuperado de: <http://portales.puj.edu.co/docquimica/Manual%20de%20Seguridad%20en%20el%20Laboratorio/SGMA-Javerianacali/lago.pdf>
65. Espinosa, C. (2014). Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Tesis de Maestría. Escuela Colombiana de Ingeniería - Julio Garavito. Bogotá.
66. Estrada, I.Y. (2010). Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Monografía de tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.

67. Fernández, J. (2001). Manual de Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. Proyecto life.
68. Fuchs, V. (2009). Nitrogen removal and sustainability of vertical flow constructed wetlands for small scale wastewater treatment. Tesis de Doctorado. Michigan Technological University.
69. Fundación Humedales de Bogotá (FHB). (2012). Biodiversidad. Plantas acuáticas en los Humedales de Bogotá. Recuperado de: <http://humedalesbogota.com/2012/08/01/plantas-acuaticas-en-los-humedales-de-bogota/>.
70. Fundación Humedales de Bogotá (FHB). (2014). Bogotá D.C. Humedal El Salitre. Recuperado de: <http://humedalesbogota.com/humedal-el-salitre/>
71. Fundación Humedal La Conejera (FHLC) & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2015). Plan de Manejo Ambiental Humedal La Conejera. Bogotá D.C.
72. Fundación Humedal la Conejera. (2004). Evaluación ecológica rápida del Humedal la Conejera. Convenio EAAB – Fundación humedal La Conejera.
73. Fundación Humedal la Conejera. (2003). Plan de Manejo Ambiental para la rehabilitación de hábitats acuáticos del Humedal La Conejera. Bogotá D.C.
74. Gamboa, J. (2013). La expedición de Gonzalo Jiménez de Quesada por el Río Magdalena y el origen del nuevo Reino de Granada (1536-1537). *Revista Credencial Historia*. (283). Recuperado de <http://www.banrepcultural.org/node/121830>
75. García, J., Corzo, A. (2008). Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo Subsuperficial.
76. García, M. Bécares, E., Soto, F., Luis, E. (1999). Macrófitas en la depuración de aguas residuales. Su función en la eliminación de bacterias. *Tecnología del Agua*. Vol. 185. pp. 64 – 67.
77. Gómez, R., Suarez, M., Vidal-abarca, M. (2001). The performance of a multi-stage system of constructed wetlands for urban wastewater treatment in a semiarid region of Spain. *Ecological engineering*, No. 16. pp. 501 – 517.
78. González, M.N. & L.A. Forero, T. (2000). Cambios en la vegetación y en el clima en un sector del valle de Tenjo (Cundinamarca) con base en el

análisis palinológico. Trabajado de grado. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia.

79. Gonzales, O., Valdés, G. (2011). Metodología para el diseño de humedales con flujo Subsuperficial horizontal. *Ingeniería hidráulica y Ambiental*. Núm. 1. pp. 61 – 70.
80. Gross, A., Shmueli, O., Ronen, Z., Raveh, E. (2006). Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW), a novel method of recycling greywater for landscape irrigation in small communities and households. *Chemosphera*.
81. Gutiérrez, S. & De García, L. (1983). Vacío Prehistórico en la Sabana de Bogotá. Tesis de Grado. Universidad de los Andes. Bogotá. Fundación de investigaciones Arqueológicas Nacionales. Banco de la Republica.
82. Guío, C & Palacio, G. (2008). Bogotá: el tortuoso y catastrófico (des) encuentro entre el río y la ciudad. En: Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia.
83. Hernández, J & Rangel, O. (2009). La vegetación del humedal de Jaboque (Bogotá D.C.). *Caldasia*. 31(2). 355 – 379.
84. Herrera M., Sepúlveda M & Aguirre N. (2008). Análisis sobre la aplicabilidad de las herramientas de gestión ambiental para el manejo de los humedales naturales interiores de Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*. Núm. 11. pp. 7 - 20.
85. Hettner, A. (1976). Viajes por los Andes colombianos (1882-1884). Bogotá. Talleres Gráficos del Banco de la República. Recuperado de: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/historia/viaand/indice.htm>
86. Hooghiemstra, H. (1984). Vegetation and climatic history of high plain of Bogotá, Colombia: A continuous record of the last 3.5 million years. *Revista Dissertationes Botanicae*. (79): 368p.
87. Hooghiemstra, H. & E.T.H. Ran. (1994). Late Pliocene-Pleistocene high-resolution pollen sequence of Colombia: an overview of climatic change. *Revista Quaternary International*. Núm. 21. pp. 63 - 80.
88. Hooghiemstra, H. (1995). Los últimos tres millones de años en la Sabana de Bogotá: registro continuo de los cambios de vegetación. En: T. Van der Hammen, ed.: "Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y alrededores". Análisis Geográficos 24: 33 - 50. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.

89. Hoffmann, H. (2008). Ejemplo para un saneamiento sostenible con reusó total de efluentes y biosólidos tratados, aplicado en el Colegio San Christoferus. Conferencia Peruano de Saneamiento, PERUSAN; Perú, 25 – 27 .11. 2008
90. Instituto de Estudios Ambientales – IDEA. (2008). Plan de Manejo Ambiental del Humedal Burro. Universidad Nacional de Colombia.
91. Iriarte, A. (1988). Breve historia de Bogotá. Editorial Oveja negra. Bogotá.
92. Kadlec, R. & Knight, R. (1996). Treatment wetlands. Lewis-CRC publishers. Boca Raton. USA.
93. Kadlec, R., Kinght, R., Vymazal, J., Brix, H. Copper, P., Haberl, R. (2000). Constructed wetlands for pollution control: Processes, performance, design and operation. IWA Publishing.
94. Kadlec, R., Wallace, S. (2009). Treatment wetlands. Second edition. CRC Press.
95. Lahora, A. (2003). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la Edar de los Gallardos (Almería). pp. 99 – 112. En: Ecología, manejo y conservación de humedales. Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería.
96. Langebaek, C. (1986). Las ofrendas en los Andes septentrionales de influencia Chibcha. Bogotá. Revista *Boletín Museo del Oro*. (17).
97. Langebaek, C. (1987). Mercados, poblamiento e integración étnica entre los Muisca del siglo XVI. Bogotá. Colección Bibliográfica del Banco de la República.
98. Langebaek, C. (1987). Dispersión geográfica y contenido simbólico de la Cerámica Guatavita desgrasante tiesto: un ensayo de interpretación. *Revista de Antropología*. Vol. III. (2): pp. 115 - 130.
99. Lara, J., Baquero, A. (2013). Humedales construidos en la gestión sostenible del sistema pluvial de Bogotá. Grupo de investigación ISAD. Pontificia Universidad Javeriana.
100. Luna, V., Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. Núm. 17. pp. 32 – 55.

- 101.** Madrimasd. (2013). Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia. Recuperado de: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>
- 102.** Martínez M. (2013). Informe final: Contrato 315. Bogotá. Jardín Botánico José Celestino Mutis.
- 103.** Márquez, G. (2003). Bienes y servicios ecológicos de los humedales. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Conservación Internacional. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Vol. I. Bogotá.
- 104.** Mateus, F. & Caicedo, Y. (2016). Efecto de la transformación del paisaje sobre la prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat del humedal "El Tunjo" (Bogotá- Colombia), de 1940 a 2014. Tesis de Pregrado. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá D.C.
- 105.** Mena, P.A. (2014). Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el colegio comfamiliar siglo XXI, sede campestre corregimiento de San Fernando, Municipio de Pasto, Colombia. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- 106.** Méndez, I. (2014). Análisis del marco regulatorio e institucional de la problemática del manejo y preservación del ecosistema el humedal La Vaca. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental en la Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- 107.** Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia.
- 108.** Ministerio del Medio Ambiente. (17 de marzo de 2015). Parámetros y valores máximos permisibles en vertimiento puntuales a cuerpos de agua superficiales y alcantarillado público. [Resolución 631 de 2015].
- 109.** Molina Prieto, L. (2006). Aproximación a la historia de los parques de Bogotá, con énfasis en las aves que los frecuentan. *Revista Nodo*. Vol. I. (1): pp. 35-44.
- 110.** Montiel, P. (2014). Humedal artificial. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 111.** Morel A., Diener S. (2006). Greywater Management in low and middle-income countries, review of different treatment systems for

households or neighbourhoods. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.

112. Moreno, V., García, J.F., Villalba, J.C. 2002. Descripción General de los Humedales de Bogotá. Sociedad Geográfica de Colombia – Academia de Ciencias Geográficas.
113. Murray, G., Kasel, S., Loyn, R., Hepworth, G., Hamilton, A. (2013). Waterbird use of artificial wetlands in an Australian urban landscape. *Hydrobiologia*, No. 716. pp. 131 – 146.
114. Observatorio Ambiental de Bogotá. (2013). El observatorio de la comunidad. Recuperado de: <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/noticias/cuanta-agua-residual-se-trata-en-bogota>
115. Ocampo López, J. (2006). Historia Ilustrada de Colombia. Bogotá. Plaza & Jane S.A.
116. Oginni F & Isiorho S. (2014). Evaluation of a constructed wetland for removal of some physicochemical and microbiological contaminants from wastewater in a residential tertiary institution in Nigeria. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. Núm. 16. pp. 1 - 9.
117. Organización de Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
118. Osorio, J. (2007). El Río Tunjuelo en la historia de Bogotá, 1900-1990. Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaria de Cultura, Recreación y Deporte.
119. Osorio, J. (2008). Los cerros y la ciudad: crisis ambiental y colapso de los ríos en Bogotá al final del siglo XIX. En: Palacio, G. (ed.) Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia.
120. O.M. Ingeniería y Ambiente Ltda. & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2001). Elaboración de los diseños detallados para la construcción de los sistemas troncales de alcantarillado pluvial y redes locales de alcantarillado sanitario y pluvial para el sector del humedal de La Vaca; Diseño detallados para la adecuación hidráulica y paisajística y la restauración ecológica del humedal de La Vaca en la Localidad de Kennedy de Bogotá D.C.
121. Palacio, G. (2008). Urbanismo, naturaleza y territorio en la Bogotá republicana (1810-1910). En: Palacio, G. (ed.) Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia.

122. Palacio, G. (2006). Fiebre de tierra caliente. Una historia ambiental de Colombia 1850-1930. Universidad Nacional de Colombia. ILSA.
123. Palacio, G & Rouillón, M. 2008. La urbe modernizada: elementos para una historia ambiental de Bogotá (1920-1980). En: Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia.
124. Peña, G. & Pinto, M. (1996). Mamíferos más comunes en sitios pre cerámicos de la sabana de Bogotá. Guía Ilustrada para Arqueólogos. Bogotá. Academia de Ciencias exactas, físicas y naturales. Colección Julio Carrizosa Valenzuela (6).
125. Peña, M.R., Van Ginneken, M. & Madera, C.A. (2003). Humedales de Flujo Subsuperficial: Una alternativa natural para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas tropicales. Ingeniería y Competitividad. No. 1. pp. 27 – 35.
126. Pérez Preciado, A. (2000). La Estructura Ecológica Principal de la Sabana de Bogotá. Sociedad Geográfica de Colombia. Academia de Ciencias Geográficas.
127. Pérez, M. & Rojo, C. (2000). Función depuradora de los humedales I: una revisión bibliográfica sobre el papel de los macrófitas. *Revista SEHUMED*. Núm. 14. pp. 115 - 119.
128. Presidencia de la República de Colombia. (18 de diciembre de 1974). Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. [Decreto 2811 de 1974]. DO: 34.243.
129. Presidencia de la República de Colombia. (31 de marzo de 1977). Acuerdo de la junta directiva del INDERENA. [Resolución 076 de 1977].
130. Presidencia de la República de Colombia. (6 de agosto de 2002). Cuencas Hidrográficas. [Decreto 1729 de 2002]. DO: 44.893.
131. Roldán G & Ramírez J. (2008). Fundamentos de la Limnología Neotropical. Colombia. Universidad de Antioquia.
132. Piedrahita Díaz, Santiago. (2009). La Real Expedición Botánica. *Revista Credencial Historia*. (240).
133. Platzer, C. (2009). Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. *Water Science and Technology*. No. 3. pp. 257 - 263.

- 134.** Ramírez, C. (2014). El Humedal Meandro del Say y el río Bogotá como elementos re ordenadores de la ciudad y su región. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- 135.** Renjifo, L. (1992). Los humedales de la Sabana de Bogotá. Ambiente Capital. 1: 3 - 8.
- 136.** Rangel, O. (2003). El antiguo lago de la Sabana de Bogotá, su vegetación y su flora en el tiempo. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Acueducto de Bogotá & Conservación Internacional. Vol. I. Bogotá.
- 137.** Reed, S.C., Crites, R.W. & Middlebrooks, E.J. (1995). Natural systems for waste management and treatment. Second edition. McGraw-Hill. New York.
- 138.** Restrepo, J.M. (2009). Historia de la Revolución de la república de Colombia en la América Meridional. 5a ed. Colombia. Universidad de Antioquia.
- 139.** Rivera, F., Warren, A., Ramírez, E., Decamp, O., Bonilla, P., Gallegos, E., Calderón, A., Sánchez, J. (1995). Removal of pathogens from wastewater by the root zone method (RZM). *Water Science and Technology*, No. 32. pp. 211 – 218.
- 140.** Rodríguez, P. (2010). Historia que no cesa: La Independencia de Colombia (1780-1830). Bogotá. Universidad del Rosario.
- 141.** Rodríguez, J. (1984). El Carnero. Instituto Caro y Cuervo. Bogotá.
- 142.** Rodríguez, M. (1994). INDERENA, el gran pionero de la gestión ambiental en Colombia. En: Memoria del primer ministro del medio ambiente. Tomo I. Ministerio del Medio Ambiente. Colombia.
- 143.** Rojas, R. (2000). Humedales en la Sabana de Bogotá: una mirada histórica durante los siglos XV a XIX. Alcaldía Mayor de Bogotá.
- 144.** Rosselli, L., Stiles, G., Useche, Y., Chisacá, L., y Camacho, G. (2004). Protocolo de restauración de Humedales del Distrito. Bogotá D.C.
- 145.** Ruiz, M. (2008). Lineamientos para una historia agro-ambiental de la sabana. En: Palacio, G. (ed.) Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia.

146. Sánchez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. *Economía y Desarrollo* 1(1):79 - 98.
147. Sanclemente, S & Palacio, G. (2008). Sabana de Bogotá: vías de comunicación e integración territorial. En: Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia.
148. Santiago, H.M. (2012). Importancia Histórica y Cultural de los Humedales del Borde Norte de Bogotá (Colombia). *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. 15 (1): 167 - 180.
149. Schmidt Mumm, U. (1988). Vegetación acuática y palustre de la parte alta de la Hoya del Rio Namay (Albán, Cundinamarca). *Revista Pérez Arbelaezia* (2) (6-7): 9 - 41
150. Schmidt Mumm, U. (1998). Vegetación acuática y palustre de la Sabana de Bogotá y el plano del Rio Ubaté. Tesis de Maestría. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.
151. Secretaria Distrital de Ambiente. (2008). Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Alcaldía Mayor de Bogotá.
152. Secretaria Distrital de Ambiente (SDA). (2016). Ambiente por recursos: Alcaldía Mayor de Bogotá. Bogotá. Recuperado de <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/humedales>.
153. Secretaria Distrital de Ambiente. (2009). Plan de Manejo Ambiental Humedal capellanía (1ra Versión). Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
154. Secretaria Distrital de Ambiente. (2008). Plan de Manejo Ambiental. Humedal Córdoba. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
155. Secretaria Distrital de Ambiente. (2009). Plan de Manejo Ambiental Humedal de Techo. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
156. Secretaria Distrital de Ambiente. (2008). Plan de Manejo Ambiental Humedal El Burro. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
157. Secretaria Distrital de Ambiente. (2012). Plan de Manejo Ambiental. Humedal Jaboque. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
158. Secretaria Distrital de Ambiente. (2009). Plan de Manejo Ambiental Humedal La Vaca. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.

- 159.** Secretaria Distrital de Ambiente. (2009). Plan de Manejo Ambiental Humedal Meandro del Say. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- 160.** Secretaria Distrital de Ambiente. (2010). Plan de Manejo Ambiental Humedal Santa María del Lago. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- 161.** Secretaria Distrital de Ambiente. (2007). Plan de Manejo Ambiental Humedal Tibanica. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- 162.** Secretaria Distrital de Ambiente. (2013). Registros biológicos del PED Humedal Santa María del Lago para el periodo comprendido entre 1999 y 2013. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- 163.** Seidel, K. (1953). Die Flechtbinse *Scirpus lacustris* in: ökologie, morphologie und entwicklung, ihre stellung bei den volkern und ihre wirtschaftliche bedeutung. Schweizerbart'sche verlagsbuchnadtung, Stuttgart. pp. 37 – 52.
- 164.** Seidel, K. (1953). Pflanzungen zwischen Gewässern und Land. Mitteilungen Max Planck Gessellschaft. pp. 17 – 20.
- 165.** Silva, A., & Zamora, H. (2005). Humedales artificiales. Monografía de pregrado. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- 166.** Si W. Zhang W., Lu Y., Yang F., LIU J & Zhang Y. (2014). Heavy Metal Removal in a Constructed Wetland and Benefits for the Development of the Toad *Bufo raddei*. Pol. J. Environ. Stud. (23): 2207 - 2215.
- 167.** U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Manual, Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. Washington, D.C.
- 168.** U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo libre superficial. Washington, D.C.
- 169.** Van Der Hammen, T. (1986). La Sabana de Bogotá y su lago en el Pleniglacial medio. *Revista Caldasia*. Vol. XVI (71-75): pp. 249 - 262.
- 170.** Van Der Hammen, T. (1992). Historia, Ecología y Vegetación. Bogotá. COA, FEN. Fondo Promoción de la cultura del Banco Popular.
- 171.** Van Der Hammen, T. (1995). Plioceno y cuaternario del altiplano de Bogotá y alrededores. Bogotá. Análisis Geográficos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

- 172.** Van Der Hammen, T. (2003). Los Humedales de la Sabana; Origen, evolución, degradación y restauración. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Acueducto de Bogotá & Conservación Internacional. Vol. I. Bogotá.
- 173.** Van Der Hammen, T. & Correal, G. (1978). Prehistoric man on the Sabana of Bogotá. *Revista Ecological Prehistory*. (25): pp. 179 - 190.
- 174.** Van Der Hammen, T. & E. González. (1963). Historia del clima y de vegetación del Pleistoceno superior y del Holoceno de la Sabana de Bogotá. *Boletín Geológico*, Vol. XI (1-3): pp. 189 - 266.
- 175.** Van Der Hammen, T., J.H. Werner & H. Van Dommelen. (1973). Palynological record of the upheavel of the Northern Andes: a study of the Pliocene and lower Quaternary of the Colombian Eastern Cordillera and the early evolution of its high Andean biota. *Palaeobot Palynol.* (16): pp. 1 - 22.
- 176.** Van Der Hammen, T., G. Correal & C.J. Van Klinken. (1992). Isotopos estables y dieta del hombre prehistórico en la Sabana de Bogotá. Bogotá. *Boletín de Arqueología*. Vol. V (2): pp. 1 - 9.
- 177.** Vidal, L., Gutiérrez, H., Castañeda, J. (2003). Los humedales de Bogotá frente al cambio climático global. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. Conservación Internacional. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Vol. I. Bogotá
- 178.** Villamarín, L. (2015). Mágica leyenda del Dorado. Regreso de Bochica y Tisquesusa. Colección Novela Histórica de Colombia. Tomo I. 246p.
- 179.** Villate Santander, G. (1998). Una contribución al estudio del Agro como rama de la producción entre los Muisca. *Anuario de Historia Regional y de las Fronteras*. Vol. IV. (2-3): pp. 190-230.
- 180.** Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*. Vol. 380. pp. 48 – 65.
- 181.** Vymazal, J. (2008). Constructed wetland for wastewater treatment: A review. The 12th World lake conference. India
- 182.** Vymazal, J. (2010). Constructed wetland for wastewater treatment. Review. *Water*. Num. 2. pp. 530 – 549.

- 183.** Vymazal J. (2011). Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Revista Hydrobiologia*. (674): pp. 133-156.
- 184.** Vymazal, J. & Kropfelová, L. (2008). Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow. Springer. Dordrecht.
- 185.** Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Green, M. (1998). Constructed wetland for wastewater treatment in Europe. Backhuys Publishers. Leiden. The Netherlands.
- 186.** Von Munch, E. (2009). Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas grises y aguas residuales domésticas en países en desarrollo. Agencia de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Ecosan.
- 187.** Wallace, S.D. & Knight, R.L. (2006). Small-Scale Constructed Wetland Wastewater Treatment Systems: Feasibility, Design, and O&M Requirements. Final Report. Water Environment Research Foundation. Alexandria, Virginia.
- 188.** Wijninga, V.M. (1996). Paleobotany and Palynology of Neogene sediments from the High Plain of Bogotá (Colombia). Ph.D. Thesis. University of Amsterdam: 370 p. Amsterdam.
- 189.** Wijninga, V.M., O. Rangel & A.M. Cleef. (1989). Botanical ecology and conservation of the Laguna de la Herrera (Sabana de Bogotá, Colombia). *Revista Caldasia* Vol. XVI. (76): pp. 23 - 40.
- 190.** Zambrano Cardona, C. (2011). Encomienda, Mujeres y Patriarcalismo difuso: Las encomenderas de Santafé y Tunja (1564-1636). *Revista Historia Crítica*. (44): pp. 10 - 31.
- 191.** Zapata, A. (2014). Humedales artificiales; una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada la Nutria, de los cerros orientales de Bogotá D.C. Trabajo de investigación para Magister. Universidad de Manizales. Colombia.