

# PROTOCOLO DE RECUPERACIÓN Y REHABILITACIÓN ECOLÓGICA DE HUMEDALES EN CENTROS URBANOS

**SAMUEL MORENO ROJAS**

Alcalde Mayor de Bogotá

**JUAN ANTONIO NIETO ESCALANTE**

Secretario Distrital de Ambiente

**ANDREA MELISSA OLAYA ÁLVAREZ**

Jefe Oficina de Ecosistemas Estratégicos y Biodiversidad

**COORDINACIÓN GENERAL**

Sandra Patricia Montoya Villarreal

Bióloga Grupo de Restauración - Oficina de Ecosistemas Estratégicos y Biodiversidad –SDA-

Magda Liliana Chisacá Hurtado

Profesional de apoyo Oficina de Ecosistemas Estratégicos y Biodiversidad –SDA-

**AUTORES**

Thomas van der Hammen

F. Gary Stiles

Loreta Rosselli

Magda Liliana Chisacá Hurtado

Germán Camargo Ponce de León

Gabriel Guillot Monroy

Yerly Useche Salvador

David Rivera Ospina

**APORTES**

Luis Fernando Prado Castillo

Byron Calvachi

**COLABORADORES**

María del Carmen Pérez Pérez

Luz Stella Rey Sabogal

Ricardo Ramírez Pachón

**PARTICIPACIÓN Y COOPERACIÓN**

Gerencia Ambiental -EAAB-

Subdirección Científica Jardín Botánico de Bogotá *José Celestino Mutis*

Red de Humedales de la Sabana de Bogotá

**EDICIÓN TÉCNICA**

David Rivera Ospina

**FOTOGRAFÍA**

Thomas McNish Merill

F. Gary Stiles

David Rivera Ospina

**EDICIÓN EDITORIAL**

Claudia Alexandra Parra Mejía

**IMPRESIÓN Y PREPrensa**

Imprenta Nacional

**PROTOCOLO DE RECUPERACIÓN Y  
REHABILITACIÓN ECOLÓGICA DE  
HUMEDALES EN CENTROS URBANOS**

Una publicación de la Secretaría Distrital de Ambiente, como parte de su misión institucional para la conservación de los humedales en Bogotá D.C.

© Alcaldía Mayor de Bogotá  
Secretaría Distrital de Ambiente, SDA, 2008  
ISBN N°. 978-958-9387-57-3

Primera edición  
Octubre de 2008

Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá, D. C., Colombia  
Impreso en Colombia - Printed in Colombia

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni en ningún medio sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la entidad.

## ÍNDICE

Presentación .....	9
Prólogo .....	11
INTRODUCCIÓN .....	13
PROSPECTIVA .....	21
LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA RESTAURACIÓN DE HUMEDALES EN COLOMBIA .....	25
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Generalidades del ecosistema de humedal .....</b>	<b>41</b>
Historia de formación .....	43
Aspectos conceptuales .....	49
Las etapas de un proyecto de restauración ecológica .....	53
Procesos hidrológicos .....	54
Características del suelo en los humedales .....	66
Componente biótico .....	71
Procesos ecológicos en los humedales .....	77
Dinámica de la vegetación acuática y semiacuática .....	79
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Estado actual de los humedales .....</b>	<b>83</b>
Historia de alteración .....	84
Consecuencias de la alteración antrópica de los humedales sobre su fauna ....	90
Síntesis limnológica .....	92
Clasificación de los humedales .....	101
Síntesis de las intervenciones para la recuperación o rehabilitación ecológica de los humedales distritales .....	123
<b>Capítulo 3</b>	
<b>La recuperación y la rehabilitación ecológica de humedales .....</b>	<b>127</b>
Regulación hídrica .....	127
Vegetación acuática y semiacuática .....	132
Vegetación terrestre .....	138
Control de especies invasoras .....	158
Fauna silvestre .....	161
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Evaluación y seguimiento a los procesos de recuperación o rehabilitación ecológica.....</b>	<b>171</b>
Planeamiento de un programa de evaluación y seguimiento .....	173

Aspectos relevantes en limnología y vegetación acuática y semiacuática .....	184
Invertebrados acuáticos y bioindicadores .....	187
Fauna silvestre .....	190
Vegetación terrestre .....	193
Rol de la comunidad en el desarrollo de un programa de evaluación y seguimiento .....	195
Protocolo de seguimiento en limnología para los humedales del Distrito Capital .....	196
Formulación de planes ambiental de humedales .....	196

## Capítulo 5

<b>Experiencias en el manejo de humedales de Bogotá D.C. ....</b>	<b>199</b>
Experiencia colectiva de acciones de recuperación en el Humedal de la Conejera .....	202
Propuesta de la red de humedales para recuperación de humedales .....	204
Síntesis de algunas acciones desarrolladas por la Secretaría Distrital de Ambiente .....	205
Experiencia de manejo e intervención en la gravillera del Valle del Siecha .....	211
Responsabilidad social en el desarrollo de procesos de rehabilitación o recuperación ecológica de humedales .....	213

## Capítulo 6

<b>Áreas de interés para la investigación en humedales .....</b>	<b>215</b>
Síntesis .....	217
Áreas de investigación .....	217
Limnología .....	217
Dinámica hídrica .....	219
Ecología de la vegetación en humedales .....	220
Estrategias de conservación de vegetación en los humedales .....	222
Investigación, conservación y manejo de fauna .....	223
Ecología del suelo y paisaje .....	226
Gestión social y manejo sostenible de humedales .....	228

<b>Glosario .....</b>	<b>231</b>
-----------------------	------------

## Anexos

Anexo 1. Lista de macroinvertebrados bénticos.....	240
Anexo 2. Especies de fitoplacton .....	241
Anexo 3. Especies de zooplacton.....	244
Anexo 4. Listado de especies de macrófitas acuáticas y semiacuáticas.....	245
Anexo 5. Fauna silvestre de los humedales.....	248
Anexo 6. Avifauna de los humedales.....	251
Anexo 7. Valores generales de hábitat para las aves.....	257
Anexo 8-9. Evaluación de la oferta ambiental para la fauna.....	258
Anexo 10. Potencial biótico de los humedales del Distrito Capital, en términos de las especies de aves.....	259
Anexo 11. Clave de especies de macrófitas acuáticas y semiacuáticas de los humedales de Bogotá.....	261
Anexo 12. Descripción básica de algunas especies de aves y otra fauna de los humedales de la sabana de Bogotá.....	267

<b>Bibliografía .....</b>	<b>273</b>
---------------------------	------------





## PRESENTACIÓN

Los humedales de Bogotá corresponden a escenarios que, por razones históricas y de la dinámica de la ciudad, han quedado inmersos en un medio urbano en el cual tanto su estructura como sus funciones han sido fuertemente alteradas. La expansión urbana desordenada, especialmente, en las grandes urbes se ha desarrollado en contravía de la conservación de áreas para la flora y fauna nativa lo que induce un desequilibrio y pérdida de los ecosistemas.

Hace unos 20 años grupos ambientalistas se dieron a la tarea de alertar a sus conciudadanos en relación con la importancia de los humedales dado su valor ecológico único e irremplazable como hábitat de especies de avifauna en peligro de extinción, componente clave de las dinámicas hidrológicas, espacios para la recreación pasiva y la investigación básica.

Los humedales bogotanos son ecosistemas de gran importancia biológica, social, cultural y dentro de la Estructura Ecológica Principal hacen parte del Sistema de Áreas Protegidas, entendida como “el conjunto de espacios con valores singulares para el patrimonio natural”, cuya conservación resulta imprescindible para el funcionamiento de los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad y la evolución de la cultura en el Distrito Capital.

Uno de los objetivos del Plan de Gestión Ambiental del Distrito Capital (Decreto 061 de 2003) es el de conservar la biodiversidad, con el propósito de mantener, restaurar, incrementar y aprovechar de manera sostenible la oferta ambiental del territorio a escala local, distrital y regional y en él se establece, como prioritario, el desarrollo de programas y proyectos para la conservación de los bienes y servicios ambientales que ofrecen estos ecosistemas, entre los que se destacan:

- Conservación de la biodiversidad (en especial de la fauna endémica y migratoria).
- Mantenimiento de la conectividad ecológica entre los cerros orientales y el río Bogotá.
- Diversidad paisajística y embellecimiento escénico de la ciudad.
- Oferta biofísica para la recreación y la educación ambiental.
- Amortiguación hidráulica de las crecientes (prevención de inundaciones).
- Recarga de las aguas subterráneas de la sabana.

Por otra parte, la gestión ciudadana e institucional para emprender la recuperación de los humedales Bogotanos es una experiencia que arroja resultados alentadores por cuanto en este campo se han registrado notables adelantos con el protagonismo de la ciudadanía organizada, así como con la intervención institucional, en una interacción que apunta a construir modelos de gestión de responsabilidad compartida, sobre el principio de establecer una sólida base social para su preservación y uso sostenible.

La Secretaría Distrital de Ambiente a partir de la edición del Protocolo Distrital de Restauración Ecológica en el año 2000 abordó la problemática relacionada con la rehabilitación y recuperación ecológica de los ecosistemas terrestres, rondas de quebradas, protección de nacaderos así como la sustitución de plantaciones forestales a partir de los lineamientos publicados en el 2004: Guía técnica para la restauración de áreas de ronda y nacaderos del Distrito Capital; Guía técnica para la restauración ecológica en áreas con plantaciones forestales exóticas en el Distrito Capital y Guía técnica de jardinería ecológica.

El presente documento trasciende el simple procedimiento para abordar el restablecimiento de estos ecosistemas, pues, dada su complejidad en el medio urbano, es preciso efectuar un análisis único e integral para cada uno de ellos, de tal forma que los objetivos y metas planteadas respondan a procesos de validación tanto espacial como temporal, mediante indicadores cuantificables que permitan interpretar los procesos en curso y su nivel de éxito, como elementos clave en la toma de decisiones para su conservación.

En el marco de la política de humedales, formulada en el año 2005, el presente documento técnico se constituye en un instrumento que ofrece orientación conceptual y metodológica para contribuir a la rehabilitación o recuperación de estos ecosistemas como piezas clave de las complejas interacciones ecológicas de la ciudad y la región para la conservación de su biodiversidad, la regulación hídrica y la prestación de diversos servicios ambientales.



JUAN ANTONIO NIETO ESCALANTE  
SECRETARIO DISTRITAL DE AMBIENTE

## PRÓLOGO

Al leer este Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos del DAMA, hoy Secretaría Distrital de Ambiente, junto con la “Política de humedales”, es evidente que en el curso de las últimas cinco administraciones el Distrito ha evolucionado en forma positiva en cuanto a su visión sobre los humedales. Después de años de deterioro, rellenos, contaminación, eutrofización y negación de su papel como ecosistemas naturales, pasaron a ser considerados como ecosistemas de importancia para la conservación en el primer Plan de Ordenamiento Territorial, a pesar de que en ese entonces se proponía un manejo como parques públicos, con ciclorrutas y se pensaba hasta en recreación activa más que reservas naturales. Afortunadamente llegamos a la aceptación de los humedales urbanos como “reservas naturales” propiamente dichas, las cuales necesitan acciones de protección y restauración, para poder conservar y recuperar la biodiversidad (una obligación legal: Ley 99 de 1993 art. 1 sub. 2).

El contenido de este protocolo es de excelente calidad, los temas abordados incluyen desde la geología, geomorfología, suelos, vegetación, limnología y fauna, todos ellos tratados con bases científicas y por expertos. Además, presenta indicaciones sobre las dudas o falta de claridad en relación con las consecuencias que puede tener la aplicación de ciertas medidas. En cuanto a los usuarios, es decir, los que van a trabajar seriamente en la restauración, entiéndase como recuperación o rehabilitación ecológica, es importante que se informen bien de todo el contenido del documento, que tiene una secuencia lógica en la presentación de los capítulos. Empieza con las generalidades necesarias para comprender el texto; luego se expone el estado actual, punto de partida para la restauración, con un capítulo esencial: “La Recuperación y Rehabilitación Ecológica”. En cuanto a la evaluación, seguimiento y prospectiva de investigación en humedales, será de especial importancia, tanto su ajuste como su enriquecimiento por parte de investigadores experimentados, grupos de trabajo de universidades, la comunidad científica y las organizaciones de base interesadas en el tema.

De interés especial es el capítulo sobre las experiencias en la recuperación, ya que se puede aprender mucho de ellas (y evitar errores). Tal es el caso de varios años de manejo de los humedales como La Conejera y Santa María del Lago, donde se aprendió que una protección con cercas físicas “impermeables” es una necesidad *sine qua non*, como también se necesitaron en parques públicos de recreación activa, como el Simón Bolívar.

Esperamos que ya publicado este documento no sólo se guarde en las bibliotecas, sino que se fortalezca y continúe el trabajo conjunto entre el Estado y la ciudadanía la recuperación y conservación de los humedales urbanos de Bogotá, D. C. Es la obligación de todos para dejar un valioso legado a las futuras generaciones.

Thomas van der Hammen



## INTRODUCCIÓN

Los humedales urbanos de Bogotá son ecosistemas severamente degradados, sin embargo, aún conservan elementos de flora y fauna endémica amenazada, representativa de estos ecosistemas y de la sabana de Bogotá, además de prestar diversidad de funciones y servicios ambientales a la ciudad. Soto y Lara (2001) destacan algunos valores de los ecosistemas de humedal:



Figura 1. El Humedal La Vaca en el paisaje urbano en el sur de Bogotá, reducido e inmerso en una matriz densamente poblada y con procesos activos de deterioro ambiental e invasión de la ronda. Archivo EAAB.

- Valores de uso directo: plantas medicinales, frutos y plantas silvestres comestibles.
- Valores de uso indirecto: control de inundaciones, fertilidad del suelo, control de la contaminación, ecoturismo (por ejemplo observatorio de aves), educación, servicios biológicos (polinización).
- Valores opcionales: productos futuros, descubrimientos biológicos (por ejemplo, biotecnología de microorganismos), recursos genéticos.

- Valores de existencia: protección de la diversidad biológica, mantenimiento de la cultura de las poblaciones locales, mantenimiento de los procesos ecológicos y evolutivos.

Los humedales prestan otra serie de beneficios y servicios ambientales como, por ejemplo, la regulación del microclima local, descomposición de la materia orgánica, la regulación de caudales hídricos, la fijación de nitrógeno y carbono, sumidero de nutrientes y agentes tóxicos.

Según Samper (2000), este tipo de servicios ambientales no son cuantificables fácilmente, ya que en su mayor parte no se transan a través de mercados y, normalmente, los costos asociados con la degradación de servicios ambientales se convierten en externalidades. Este breve análisis de los valores económicos totales del ecosistema de humedal, muestra la importancia de adoptar medidas para recuperarlos mediante programas de recuperación o rehabilitación ecológica.

Los procesos que conducen al restablecimiento ya sean de la estructura y/o función(es) de un ecosistema se dan en el largo plazo y requieren de suficiente conocimiento científico de los componentes del ecosistema y su funcionamiento. En el caso de los humedales urbanos de Bogotá, los estudios de historia ambiental y paleoecología han permitido conocer cuáles fueron las condiciones remotas de estos ecosistemas. Según Hobbs y Norton (1996), en un proyecto de restauración se pueden presentar a largo plazo diferentes trayectorias (Figura 2). Sin embargo, en la práctica, como anota Samper (2000), “lo que sucede es que luego de una perturbación –natural o antrópica–, se presentan cambios en la estructura y función. Es posible que podamos recuperar la función ecosistémica, sin recuperar completamente su estructura, en este caso estamos hablando de una rehabilitación de la función ecosistémica, muchas veces incluso con un reemplazo de las especies que lo componen”.

Guariguata (2000) propone que no siempre el objetivo se centrara en restaurar un ecosistema original. De hecho con base en la terminología aceptada, rehabilitar es probablemente el término más apropiado, que se refiere a cualquier esfuerzo destinado a recuperar atributos estructurales o funcionales de un ecosistema, sin que necesariamente sea el objetivo final producir el ecosistema original. No obstante, comúnmente se usa restauración como expresión envolvente. Hobbs y Norton (1996) destacan los siguientes atributos del ecosistema a recuperar o rehabilitar:

- Composición: especies presentes y sus abundancias relativas.
- Estructura: arreglo vertical y horizontal de la vegetación y componentes del suelo.
- Patrón de distribución: arreglo espacial de los componentes del sistema.
  - Heterogeneidad: un conjunto complejo de variables compuestas de los anteriores componentes, también sería importante la heterogeneidad del suelo, etc.
  - Función: el desempeño de los procesos ecológicos básicos (transferencia de energía, agua, nutrientes).
  - Dinámica y resiliencia: procesos sucesionales, recuperación postdisturbio.

Lo anterior ha generado la polémica acerca de: ¿cuáles atributos pueden ser restaurados? y ¿cuáles son los más importantes?, ¿se puede restaurar estructura y función sin, necesariamente, restaurar la misma composición? La búsqueda de estas respuestas requiere de investigación básica que debe proporcionar la ecología de la restauración (Bradshaw, 1987,1993; Clewel, 1993; Dobson et al. 1997).

En los ecosistemas tropicales y más aún en los de alta montaña tropical, la restauración ecológica de los ecosistemas apenas empieza a tener algunas aplicaciones puntuales, sin contar aún con suficiente conocimiento conceptual y experimental, a pesar de la urgente necesidad de detener los procesos de degradación que presentan, en especial los humedales del altiplano sabana de Bogotá. Esta altiplanicie a 2.600 m.s.n.m. es la más extensa en el norte de los Andes y debido a su desarrollo histórico y acelerada expansión urbana, presenta indicadores críticos sobre el estado de conservación de los humedales y otros ecosistemas como los de páramo, bosque andino, enclaves xerofíticos y el sistema hídrico que abastece al río Bogotá y a la ciudad capital del país (Rivera, 2004).

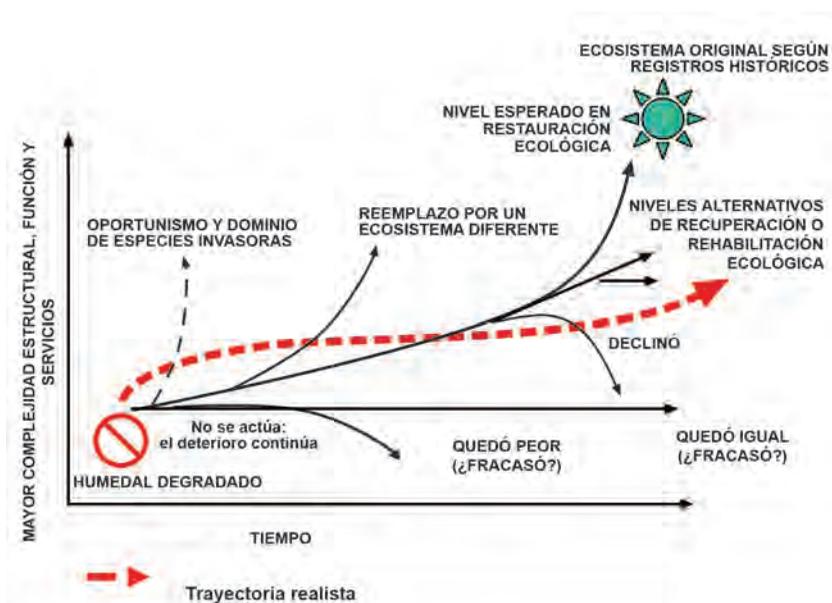


Figura 2. Modelo realista de la restauración ecológica en humedales urbanos. (Adaptado de Hobbs y Norton, 1996, David Rivera). La trayectoria finalmente conduce a un nivel alternativo de rehabilitación o recuperación ecológica.

Los humedales de Bogotá hacen parte de un complejo sistema de planicie aluvial que forma el río Bogotá en su cuenca alta, los estudios arqueológicos muestran evidencias del manejo hidráulico extensivo de estos ecosistemas desde épocas prehispánicas. En el transcurso del tiempo se consolidaron en la sabana de Bogotá los asentamientos urbanos y el hombre moderno transformó aceleradamente su entorno hasta producir grandes cambios en el paisaje y en la salud de los humedales. Una sinopsis histórica de afectación ambiental de los humedales es la siguiente:

- 1538, el sistema domiciliario de desagües es primitivo, las aguas usadas y las basuras se arrojan al caño público que corren por el centro de cada calle, estos desechos desembocan en las corrientes que atraviesan la ciudad y llegan al río Bogotá y las lagunas o humedales.
- En la Colonia comienza a registrarse un fenómeno de contaminación, las haciendas vierten sus aguas residuales a las lagunas cuyas zonas aledañas se ven afectadas debido a la continua deforestación.
- Siglo XIX, la población de Bogotá sigue creciendo y comienza el proceso de adecuación de tierras para ser urbanizadas y la construcción de barrios periféricos. Son claros los efectos de la desecación histórica de las lagunas.
- 1930-1950, se llevan a cabo varios proyectos urbanísticos (grandes avenidas), que traen como consecuencia la fragmentación y el deterioro de los cuerpos de agua. La gran Laguna del Tintal se fracciona en los humedales de Tibanica, La Vaca, El Burro, Techo y Lago Timiza.
- 1960, se da comienzo de manera masiva a los rellenos, invasión, loteo y construcción, práctica que afectó la dinámica natural de los humedales.

Durante las últimas décadas, ha sido significativa la urbanización en el costado occidental del antiguo municipio de Suba, afectando las Zonas de Ronda y en las áreas pertenecientes al humedal de La Conejera; se han consolidado barrios como Bolivia, Bachué, El Cortijo y la Ciudadela Colsubsidio, los cuales ejercen presión sobre el humedal Juan Amarillo.

En este proceso histórico, las grandes lagunas que ocuparon la región occidental de Bogotá se han reducido drásticamente y presentan problemas ambientales críticos. Hasta hace poco tiempo en Bogotá y

en el país, en general, aún no se comprendía muy bien ni se tenía plena conciencia de la importancia de estos ecosistemas para la ciudad y de la conservación y manejo racional de su enorme potencial, representado en bienes y servicios ambientales, como la regulación de crecientes durante la época de lluvias, hábitat para una gran diversidad de microorganismos con grandes potencialidades biotecnológicas, de plantas, animales silvestres y aves únicas o endémicas, residentes y migratorias o, sencillamente, como un escenario para disfrutar el paisaje.

Los humedales de Bogotá hacen parte de la Estructura Ecológica Principal - POT, 2000, definida como la “red de espacios y corredores verdes que sostienen y conducen la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales a través del territorio distrital y regional, en sus diferentes formas e intensidades de ocupación, dotando al mismo de servicios ambientales para su desarrollo sostenible. Tienen como base la estructura ecológica, geomorfológica y biológica del territorio, de la cual hacen parte los cerros, el valle aluvial del río Bogotá y la Planicie, en conjunto con las reservas, parques y la vegetación natural de quebradas y ríos”.

La Estructura Ecológica Principal de la ciudad de Bogotá propende por la conservación y recuperación ecológica de los elementos constitutivos del sistema hídrico, como principal conector ecológico del territorio urbano y rural. Tales elementos son: principales áreas de recarga del acuífero, rondas de nacimientos y quebradas, rondas de ríos y canales, humedales y sus rondas, valle aluvial del río Bogotá y sus afluentes, y los remanentes de vegetación nativa en cada uno de estos ecosistemas así como las áreas para restaurar su composición biótica original y su funcionalidad ecológica.

## EL HUMEDAL URBANO

El humedal urbano surge como un nuevo paradigma en el contexto de la ecología y conservación de humedales y su relación con el desarrollo de las grandes ciudades como Bogotá. Estos ecosistemas, antes considerados “obstáculos” para el desarrollo de las ciudades, hoy son apreciados como ecosistemas estratégicos por su gran valor ecológico, económico y cultural. Según Soto y Lara (2001), los humedales proveen una multiplicidad de bienes y servicios. Cuando ellos son drenados para convertirlos en terrenos agrícolas, tal conversión puede aparecer como un logro económico y de desarrollo en el corto plazo, pero en el largo plazo y aplicando un análisis más amplio, la conversión de humedales a usos agrícolas o urbanos arroja generalmente pérdidas económicas.

En ambientes urbanos como en la ciudad de Bogotá, los humedales están íntimamente relacionados con los Cerros Orientales, allí nacen numerosas fuentes de agua y quebradas procedentes de los páramos. Estos afluentes en un corto trayecto llegan a la zona periurbana (próxima) de la ciudad y reciben numerosos vertimientos de aguas residuales. En el medio urbano sus cauces se han transformado en un complejo sistema artificial de drenaje de interceptores y canales, que han modificado en gran manera la microcuenca de captación, los caudales y la calidad físico-química y microbiológica de las aguas que abastece a los humedales.

En el sentido de Girardet (1992), las ciudades son ecosistemas de metabolismo complejo, inmensos procesadores de alimentos, combustibles y materias primas cuyas conexiones y efectos se extienden por todo el planeta. Las ciudades desarrollan metabolismos complejos sin comparación con otras estructuras existentes, relacionándose en forma extensiva e intensiva, horizontal y verticalmente por todo el planeta para obtener los productos que necesitan. Estos sistemas tienen la capacidad de transformar, cambiando materias naturales en objetos artificiales.

El metabolismo urbano es heterótrofo, depende de la producción primaria de otras partes del territorio y presenta un alto consumo de energía en el transporte. Esta energía viaja por fuera de los organismos vivos y se emplea en la construcción de infraestructuras y edificios, así como en el funcionamiento de los servicios. El medio urbano se caracteriza por presentar gran complejidad por la multiplicidad de artefactos portadores de cultura y de información. Se podría pensar que este escenario conduce a cierto nivel de

“artificialización” de los humedales urbanos, a tal punto que es necesario llegar al manejo de cada uno de sus componentes estructurales y funcionales (flora, fauna, dinámica hídrica).

Las investigaciones de Bernal y Calvachi (2005) concluyen que la metodología de rehabilitación de un humedal urbano debería buscar la readecuación de un mosaico de hábitat que sostenga una alta diversidad de especies y que, por el contrario, su homogenización favorece a pocas especies en detrimento de otras vulnerables. Un humedal rodeado de urbanizaciones no impide el mantenimiento de una considerable representatividad del hábitat que, podrían, eventualmente, sostener una alta diversidad de aves y fauna asociada.

Una pregunta que surge en este contexto es ¿qué caracteriza realmente a los humedales urbanos desde el punto de vista de su estructura y función, biodiversidad y servicios ambientales? Si bien es un aspecto conceptual en construcción y que requiere de investigación y mayor elaboración, la respuesta más sencilla sería que son humedales urbanos porque han quedado inmersos en la ciudad, en la matriz urbana, rodeados de gente, su cultura y de sus necesidades; su entorno ha sido transformado por el crecimiento de la ciudad. El funcionamiento de un humedal urbano en buena medida es subsidiado y controlado por el metabolismo de la ciudad y el tránsito de sus aguas.

Así mismo en el contexto social, los humedales urbanos presentan algunas particularidades que apenas están siendo exploradas. En resumen, desde este punto de vista los humedales de Bogotá presentan tres grandes características:

- Han quedado aislados en la matriz del paisaje de la planicie aluvial del río Bogotá y presentan muy baja conectividad.
- Son ecosistemas naturales fuertemente transformados, rodeados por una matriz urbana en desarrollo y una problemática compleja de saneamiento ambiental y de asentamientos humanos que han invadido sus rondas, deteriorando su funcionamiento y procesos ecológicos.
- Son escenarios de un gran valor ecológico por sus funciones, bienes y servicios ambientales que se deben recuperar o rehabilitar para la conservación de la biodiversidad y para el disfrute de los ciudadanos y ciudadanas.

## LOS HUMEDALES - POLÍTICAS INTERNACIONALES Y NACIONALES

En el ámbito internacional en 1971 se adoptó la Convención Ramsar -“Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas”, fue firmada en Irán y ratificada por 131 países, entrando en vigor en 1975. En el texto de la Convención Ramsar se define a los humedales como: “Las extensiones de marismas, pantanos, turberas, cuerpos de agua de régimen natural y artificial, permanentes o temporales, estancadas, corrientes, dulces, salobres y saladas incluyendo las áreas de aguas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros”. Es el tratado intergubernamental que ofrece las bases de cooperación internacional en cuanto a la conservación de humedales y aporta elementos conceptuales y metodológicos como una guía en la materia.

Actualmente la Convención cuenta con la suscripción de 138 países, 1.317 humedales declarados de importancia internacional, cubriendo un área de más de 111 millones de hectáreas. Así mismo, dentro del marco de la **Agenda 21**<sup>1</sup> se establece como prioritaria la conservación de los recursos de agua dulce y se hace un llamado a nivel mundial para establecer planes de acción para su conservación. La Convención Ramsar ha establecido alianzas estratégicas con otros tratados y convenios internacionales, tales como el Convenio de Diversidad Biológica y el Protocolo de Kioto.

<sup>1</sup> Documento en el que se traza un programa de medidas ambientales a tomar hasta los primeros años del siglo XXI, acordado en la Conferencia Global sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (denominada Cumbre sobre la tierra), celebrado en Río de Janeiro (1992).



## PARTICIPACIÓN DE COLOMBIA EN EL MARCO DE LA CONVENCIÓN RAMSAR

A través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT-, el país ha avanzado significativamente en el desarrollo de políticas para la conservación y uso sostenible de estos ecosistemas. Algunos de sus logros se anotan a continuación: Colombia se hizo parte de la Convención Ramsar a través de la Ley 357 del 21 de enero de 1997, la cual entró a regir el 18 de octubre de 1998. Sin embargo, a pesar de su tardía vinculación a la Convención, desde el año de 1992 se empezaron a realizar acciones para la conservación de los humedales. A raíz de la expedición de la Ley 99 de 1993 (ley que crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y el MAVDT, se definió que la instancia de gobierno encargada para el desarrollo del diseño y ejecución de una estrategia para la conservación y uso sostenible de los humedales, estaría a cargo de la Dirección General de Ecosistemas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

De acuerdo con el MAVDT, ser parte de esta Convención implica el reconocimiento de las funciones ecológicas, sociales y económicas de los humedales, así como la importancia de involucrar a las comunidades en la declaratoria, conservación y manejo de los humedales. Los países signatarios asumen una serie de compromisos y obligaciones, tales como la conservación de los humedales y de las aves acuáticas, estén o no incluidos en la lista, mediante la creación de reservas naturales y la adopción de medidas adecuadas para su custodia. Cuando un país por motivos urgentes, de interés nacional, retire o reduzca los límites de un humedal incluido en la lista debe, en lo posible, compensar la pérdida y crear nuevas reservas para aves acuáticas.

Así mismo, la convención hace un llamado a las partes para la conservación de los humedales del país, estén o no inscritos en la lista internacional. Para este fin, la legislación colombiana prevé una amplia gama de categorías de manejo de áreas protegidas que pueden ser complementarias a la figura de Ramsar.

Para avanzar en los procesos de implementación, la convención invita a los países a desarrollar políticas nacionales y a revisar sus legislaciones internas e instituciones, con el fin de ver si son acordes con los propósitos de la misma. A nivel nacional, las normas y consideraciones relacionadas con humedales se encuentran dispersas y fraccionadas.

Únicamente cuando Colombia ratificó la convención se empezó a utilizar el término de humedales, por lo cual para el análisis jurídico se debe mirar en dónde aparece alguna referencia concreta de acuerdo con la amplia definición de “humedal”.

Por estas razones, en julio del 2002, el MAVDT (Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) desarrolló y aprobó la Política Nacional de Humedales Interiores, la cual fue elaborada a partir de discusiones regionales, con la participación de un gran número de actores del sector gubernamental y no gubernamental. Actualmente, se encuentra en proceso de aprobación un decreto reglamentario específico sobre este tema.

## RÉGIMEN JURÍDICO DE LOS HUMEDALES

De acuerdo con la adhesión a la Convención Ramsar y según el documento de Política Nacional de Humedales Interiores de Colombia, los humedales han sido reconocidos como “áreas de especial importancia ecológica”; así mismo, la jurisprudencia ha reconocido la importancia de estos ecosistemas. La Constitución Nacional, en el artículo 79, señala: “... Es deber del Estado conservar las áreas de especial importancia ecológica, y existe la obligación de preservar ciertos ecosistemas”. Las áreas de importancia ecológica tienen un régimen de protección más estricto que otro tipo de ecosistemas, por lo cual el Estado y los particulares deben conservarlos y llevar a cabo medidas para su protección.

Los humedales, dadas sus características ambientales y su función reguladora, son jurídicamente tratados como bienes públicos, es decir, que su dominio pertenece al Estado y su uso común corresponde

a todos los habitantes del territorio, como ocurre con los ríos y todas las aguas que corren por cauces naturales. A nivel constitucional, estos bienes son: “inalienables, imprescriptibles e inembargables”.

Según el Decreto 190/04 – Revisión del POT, los Parques Ecológicos Distritales de Humedal corresponde a los siguientes:

- a. Humedal de Tibanica
- b. Humedal de La Vaca
- c. Humedal de El Burro
- d. Humedal de Techo
- e. Humedal de Capellanía o La Cofradía
- f. Humedal del Meandro del Say
- g. Humedal de Santa María del Lago
- h. Humedal de Córdoba y Niza
- i. Humedal de Jaboque
- j. Humedal de Juan Amarillo o Tibabuyes
- k. Humedal de La Conejera
- l. Humedales de Torca y Guaymaral

## ESTRUCTURA DEL PROTOCOLO

El presente documento es el resultado de un largo proceso de estudios de sus autores para la comprensión científica de los diferentes componentes de los humedales, del aporte de iniciativas de la Red de Humedales y ONG involucradas en su conservación y manejo, de la Empresa de Acueducto de Bogotá, del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, así como del Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, que con sus aportes y discusión contribuyeron a la edición de este documento. Proceso que construyó y coordinó durante varios años hasta su culminación el Grupo de Restauración Ecológica de la Oficina de Ecosistemas y Biodiversidad de Secretaría Distrital de Ambiente.

Los diversos capítulos del protocolo sintetizan el trabajo de los autores quienes aportaron su amplia trayectoria y conocimiento en el campo de la ecología para analizar e interpretar –a partir de información colectada en campo e información secundaria– los complejos procesos ecológicos de los humedales urbanos y, en consecuencia, ofrece lineamientos y estrategias de gran utilidad para los ejecutores de proyectos de rehabilitación o recuperación ecológica en estos ecosistemas urbanos. Ellos corresponden a: Thomas van der Hammen (2003) en paleoecología e historia ambiental; Gabriel Guillot y Yerly Useche (2004) del Departamento de Biología de la Universidad Nacional en ecología acuática y limnología; Liliana Chisacá y Germán Camargo (2003) en el análisis de la vegetación; F. Gary Stiles y Loreta Rosselli en Fauna (2003); David Rivera (2005) en el componente suelos; Luis Fernando Prado con aportes al marco conceptual, así como en aspectos relacionados con la formulación y ejecución de programas de evaluación y seguimiento.

El protocolo consta de seis capítulos. El primero presenta generalidades del ecosistema de humedal a partir de su historia de formación, aporta elementos conceptuales para comprender qué es el ecosistema de humedal, su funcionamiento y los diferentes componentes ecosistémicos, flora, fauna, suelos, hidrología, flujos, los procesos ecológicos y síntesis de atributos funcionales.

En el segundo capítulo se describen las características, problemática ambiental, factores limitantes y tensionantes, se evalúa cuál es la oferta ambiental, el potencial biótico y el potencial de restauración ecológica, con especial atención al manejo y conservación de fauna de los humedales; se propone una clasificación de los humedales de Bogotá para evaluar su estado de conservación. Se analiza la historia de afectación sobre los componentes de vegetación acuática y semiacuática y de la fauna; el análisis limnológico contribuye a una interpretación integral del funcionamiento actual del ecosistema.

El tercer capítulo plantea el tema central del protocolo, que consiste en los lineamientos del *cómo* hacer la recuperación o rehabilitación ecológica y en él recomienda métodos y técnicas para los diferentes componentes de las comunidades vegetales acuáticas y terrestres, la rehabilitación de los hábitat para la fauna silvestre y su manejo integral. Sin embargo, hay que tener en cuenta que aún no existe suficiente evidencia experimental para muchos de los problemas que se han planteado en los capítulos anteriores y algunos de estos procesos están en investigación. En el aspecto funcional y de manejo hidráulico existen aún importantes vacíos de conocimiento sobre los cuales la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá debe efectuar investigaciones específicas para cada humedal en cumplimiento de la implementación de los Planes de Manejo Ambiental.

El cuarto capítulo corresponde a la evaluación y seguimiento de los procesos de recuperación o rehabilitación en los humedales; se ofrecen recomendaciones para evaluar los resultados, detectar cambios, hacer ajustes oportunos y documentar el proceso. Se aporta como orientación un esquema básico de muestreo limnológico, así como el seguimiento a la fauna y a la vegetación.

El quinto capítulo hace un balance de experiencias de la comunidad y logros alcanzados en el manejo de algunos humedales. Se presenta la experiencia de otros actores institucionales, que amplían el abanico de posibilidades para resolver exitosamente la compleja problemática de los humedales urbanos de Bogotá.

En el sexto capítulo se abordan los que serían en términos generales algunos de los aspectos relevantes que deben incluirse en el marco de la investigación a fin de resolver numerosos interrogantes en limnología, en vegetación, fauna, en lo social así como en la ecología de poblaciones. De acuerdo con las líneas de investigación propuestas, se requiere hacer más énfasis en aspectos funcionales y experimentales con un buen sustento estadístico para el análisis de resultados; también, se precisa la necesidad de empezar a interpretar los problemas espaciales desde la perspectiva de la ecología del paisaje y la modelación ecológica, para tener en el mediano plazo (3 a 6 años) herramientas predictivas sobre el funcionamiento de estos ecosistemas.

En los anexos se presentan fichas de vegetación acuática y de las aves más representativas; también, una clave para identificación de macrófitas acuáticas. Finalmente, con el propósito de complementar la información técnica, el protocolo se ilustra con fotografías y un glosario.

## PROSPECTIVA

Por: Thomas van der Hammen

El tema del manejo y restauración de humedales cuenta con amplias experiencias en otros países y es lógico que estos se puedan utilizar como referentes para el caso de los humedales de Bogotá y la sabana. Sólo quiero mencionar dos casos de Holanda, un país de humedales por excelencia, que además tiene un fuerte desarrollo urbano.

El primer ejemplo es de una pequeña reserva natural de unas 32 hectáreas rodeada de campos de cultivo intensivo (en el oriente del país, el “Molenven”), consiste en un gran humedal central, rodeado de áreas algo más elevadas. Durante varios siglos sufrió fuerte y continúa influencia humana: el bosque de las áreas más elevadas fue objeto de deforestación, convirtiéndose en “brezal” (matorral) y en el pantano central se explotó artesanalmente la turba para combustible. Se hicieron zanjas a lo largo del humedal con la intención de desecarlo, por estas ingresaba agua contaminada por nitrógeno y otros agroquímicos de los alrededores, lo que había causado una fuerte eutrofización, con la consecuente extensión de vegetación de pantano adaptada a estas nuevas condiciones, en detrimento de la vegetación original compuesta por especies instaladas a un medio mesotrófico hasta oligotrófico. También había interferencia antrópica directa y así como de animales, lo que provocaba fuertes daños a la vegetación y la fauna.

En 1960 se resolvió manejar la reserva de tal forma que llevara al desarrollo de un proceso autónomo de la vegetación hacia una situación lo más cercana posible a la original, antes de la interferencia e influencia humana. Para este fin, se definió un plan de manejo que se ha venido ejecutando desde entonces hasta hoy en día. Lo primero fue cercar el terreno dejando sólo una entrada y definir un sendero de acceso limitado para el público. En el pantano se construyó un sendero pasadizo elevado para su utilización en el monitoreo de la vegetación y para visitas guiadas. En el punto donde el agua de la zona de agricultura entraba al terreno, se tapó la zanja y se canalizó alrededor de la reserva.

Para poder restaurar el nivel freático original, se cerró la zanja de salida del agua para lograr en el curso de varios años, el nivel deseado, lo más cercano al original. Durante los 30 años siguientes se efectuó el monitoreo al desarrollo de la vegetación, año tras año, por medio de cuadrículas fijas así como el registro de transectos, la evaluación del nivel freático y de la calidad del agua. Se utilizaron también fotografías aéreas tomadas a baja altura, en las que se podía ver cada árbol individual. En 30 años la situación cambió por completo: en las zonas algo más elevadas se desarrolló espontáneamente bosque nativo, y en el pantano se desarrollaron bosques pantanosos de, por ejemplo, abedul, en la que se comenzaba a formar un tapete continuo de musgo de turberas meso hasta oligotróficas, *Sphagnum*. Este resultado se logró solo, a partir de lo que llamamos un “manejo exterior”.

El segundo ejemplo se refiere a la auto-creación de un área grande de humedales en la década de los 70, donde antes no existía nada, llamado “Oostvaarders plassen”. Se trata de un área en uno de los grandes “polders” de la antigua área marina del Zuiderzee. Después de haber hecho los diques, se sacó el agua mediante bombeo para utilizar el área para la agricultura y ganadería, pero una parte más baja quedó pantanosa. Se decidió entonces dejar esta área (de casi 6.000 hectáreas) como reserva natural con el

fin de observar cómo se desarrollaba la vegetación. En el curso de los años, se extendió de manera amplia la caña nativa (*Phragmites*) y muchas otras hierbas de pantano, luego los bosques pantanosos de sauces y alisos, que en su conjunto crearon un área salvaje auto-generada de partes “abiertas” y boscosas. Con estas extensiones tan grandes, era posible la vida de mamíferos de gran tamaño y se decidió introducir venados, caballos y bovinos de razas más cercanas a las originales. Muy pronto se estableció también, naturalmente, una fauna de una gran diversidad de aves acuáticas y de pantano, así como las grandes aves de rapiña, antes casi desaparecidas. De esta manera, con un mínimo de interferencia humana, se creó una de las reservas más espectaculares del Oeste de Europa, donde casi la única acción humana fue la introducción de especies nativas o ya extintas hace mucho tiempo en la región.

En el caso de los humedales de Bogotá es evidente que su situación en zona urbana ha causado muchos cambios, que deberían ser corregidos por acción humana dentro de las “reservas”. Así, podemos diferenciar dos tipos de manejo en relación con la rehabilitación o recuperación descritos en este protocolo: el “manejo exterior” y el “manejo interior”.

En cuanto al manejo exterior, se trata de regular y controlar las influencias negativas que llegan desde afuera del área de reserva, la mayoría de las cuales tienen que ver con su ubicación como ecosistemas rodeados por la ciudad. El manejo exterior es de gran importancia y entre las medidas a tomar en cuanto a los humedales de Bogotá se pueden mencionar:

1. Evitar el ingreso a los humedales de aguas residuales de origen doméstico e industriales.
2. Evitar el ingreso de basuras (desechos sólidos).
3. Evitar el ingreso de vacas, caballos, de perros, gatos y demás animales domésticos.
4. Evitar los daños causados por acción humana (rellenos, construcciones, daños a vegetación y fauna, etc.).

Mientras el punto 1 debería ser directamente tratado y logrado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, los puntos 2, 3 y 4 sólo se podrán lograr haciendo visibles los límites por medio de una muy buena demarcación con cercas físicas “impermeables”, a los cuales se les puede mejorar el aspecto añadiendo cercas vivas (según los ejemplos de las cercas de los humedales de La Conejera y Santa María del Lago).

En cuanto al “manejo interior”, las medidas a implementar son más difíciles y críticas. En general, se pueden causar disturbios indeseables y, como está bien explicado en el presente protocolo, no siempre existen suficientes conocimientos para prever los resultados. Es evidente también, que muchos de los inconvenientes asociados a la vegetación tienen que ver con las condiciones ecológicas, que se podrán corregir y mejorar por medio del manejo exterior (punto 1). No obstante, entre las posibles medidas de “manejo interior” se pueden mencionar:

1. Remoción de sedimento reciente, es decir, el que se formó desde el momento en que fue detenida la libre evacuación del agua. Remoción de rellenos de escombros y acciones para restaurar la situación geomorfológica original.
2. Control y remoción de vegetación en aquellas áreas en donde no parece existir condiciones óptimas para la fauna de aves.
3. Introducción de especies desaparecidas localmente.

En cuanto al punto 1, es bueno reconocer que el trabajo de excavación, en grande, con que se creó el gran lago en el valle de Juan Amarillo (removiendo no sólo el sedimento reciente, sino también sedimento mucho más antiguo, destruyendo así los posibles vestigios de los cultivos indígenas y creando bordes duros de cemento), no tiene nada que ver con restauración, sino simplemente con la creación artificial de un lago de ciudad. Para que este lago mantenga su nivel es necesario bombearle agua de extracción de pozos profundos, cosa absurda, ya que sabemos que el descenso del nivel del agua freática en la Sabana, en muchos casos hasta situaciones ya críticas, es debido precisamente a esta extracción. Hay que evitar en el futuro este tipo de medidas equivocadas.

De todos modos, lo más importante y lo primero para hacer es realizar el “manejo exterior” siguiendo los cuatro puntos mencionados: un manejo como reserva natural y no simplemente como parque público. Tiene que existir la posibilidad de visita por parte del público, pero regulada de tal forma que se eviten daños a la vegetación y la fauna: las cercas de aislamiento físico impermeable (como las de la Conejera y Santa María del Lago) deben contar con entradas oficiales (con rejas en el suelo para que no puedan pasar animales) y con vallas que informen sobre las condiciones de entrada (sólo por los caminos, sin perros, sin ruido ni música, no dejar basura, etc.) e información sobre el sitio, para lo cual es necesario contar con la presencia permanente de guías ambientales que generen el vínculo con la comunidad y que estén bien informados sobre el sitio, fauna y flora. Pienso que sólo así se puede organizar bien los puntos 2, 3 y 4 del “Manejo externo”, condición sin la cual no puede haber conservación.

Finalmente, es importante pensar en la posibilidad de creación de áreas relativamente grandes de humedales, donde actualmente ya no hay, a fin de compensar las áreas ya perdidas hace años, para así asegurar la sobrevivencia y extensión de una fauna de aves, en parte endémicas y, en parte, migratorias. El área más indicada para realizarlo parece ser la parte sur de la sabana, originalmente inundable, con utilización del agua del río y/o sus afluentes y quizás con ciertas obras de excavación local superficial para crear cierta diversidad ecológica.

La posible inclusión de nuevas áreas de humedales en la sabana requiere la pronta preparación de una publicación especial sobre el tema por parte del DAMA, hoy Secretaría Distrital de Ambiente, la EAAB y la CAR, incluyendo estudios hidrológicos sobre las posibilidades, sitios, condiciones y costos. Podría ser un magnífico ejemplo de las posibilidades de restauración ambiental de la sabana de Bogotá, área declarada por la Ley Ambiental (99 de 1993) “de importancia ecológica nacional”.

En el marco de la futura revisión del Plan de Ordenamiento Territorial es fundamental que las entidades competentes analicen detalladamente la normatividad nacional en cuanto a la categoría de las reservas existentes y la propuesta como Parques Ecológicos Distritales de Humedal, dada la connotación que ello representa en términos de la conservación para el mantenimiento de la biodiversidad local y regional asociada a este tipo de ecosistemas.





## LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA RESTAURACIÓN DE HUMEDALES EN COLOMBIA

Por: Germán Camargo Ponce de León

La presente sección plantea los puntos básicos de la restauración de humedales, sin referencia específica a los bogotanos, con el fin de ofrecer un contexto general del manejo de estos ecosistemas.

### ¿QUÉ SON?

La respuesta no es simple. Sino diversa y compleja.

La “Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de especies acuáticas”, suscrita por Colombia en Ramsar en 1971 y adoptada como norma nacional mediante la Ley 357 de 1997, define los humedales como: “Las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 metros”.

Bajo esta definición tan amplia, la Convención de Ramsar distingue 42 tipos de humedal, que abarcan ecosistemas tan distintos como las praderas de fanerógamas marinas, embalses y lagos artificiales, bosques aluviales inundables y los ríos mismos. Se trata pues, prácticamente, de cualquier extensión de agua que pudiera ser usada en su ruta por las aves migratorias, un recurso biológico compartido por varios países y de lo cual se ocupa este componente del protocolo.

Sin embargo, en su acepción más común, se asume que un humedal es un ecosistema léntico; es decir aquel conformado por cuerpos de aguas estancadas bajo regímenes hidrológicos muy diversos.

El origen de la mayoría de los humedales tiene causas geomorfológicas. En los términos más simples, podría decirse que se forman humedales, en cualquier terreno donde las geoformas determinan que la escorrentía superficial afluente supere la suma del efluente y la evapotranspiración efectiva.

Dependiendo del clima, la geoforma y la hidrología de cada caso, la acumulación de agua superficial resultante puede cubrir una extensión mayor o menor. Dicha lámina de agua puede variar de manera periódica, y sólo existir durante la estación lluviosa (lagunas estacionales, charcas y esteros) o durante los episodios de desborde de los ríos vecinos (lagunas de desborde y rebalses).

Estos cuerpos de agua pueden ser pequeños y aislados (como muchas lagunas andinas) o formar extensas cadenas, como en los grandes planos aluviales del Brazo de Loba y la Mojana. Pueden extenderse con las crecientes de los ríos cubriendo enormes extensiones y diversidad de ecosistemas durante las aguas altas (como en las selvas inundables: varzea, igapó, etc.).

Su extensión también puede ser decreciente, como ocurre con la mayor parte de los humedales, a medida que avanza su colmatación con los materiales sólidos aportados por la escorrentía afluente y por la producción vegetal autóctona.

Pueden ser muy someros (como esteros, pantanos y turberas) o muy profundos (como las lagunas andinas de origen tectónico). Pueden ser muy ricos en vida como los estuarios y madrevejas o verdaderos

desiertos acuáticos como algunos lagos salobres. Pueden estar rodeados de selvas, bosques, sabanas, cardonales o arenales. Pueden ostentar extensos y ricos anillos de vegetación acuática de diversos tipos o presentarse como espejos de agua inmaculados.

Es tal la diversidad de estructura, dinámica y composición que puede encontrarse en las distintas situaciones ecológicas bajo el rótulo de “humedal” que el hablar de los ecosistemas de humedal como categoría no tiene mucha consistencia.

Por otra parte, no es posible describir y analizar cada humedal sin mencionar las franjas inundables o firmes que lo rodean y la densa red de interacciones entre éstas y los cuerpos de agua. Por lo cual, resulta difícil, además, delimitar el humedal. Más parece que estos compartimentos lénticos hacen parte del continuo ecológico de cualquier cuenca o región.

Tal vez, sería más exacto decir que en distintos ecosistemas se presentan acumulaciones variables y fluctuantes de agua, en torno a las cuales el ecosistema se organiza de un modo característico reconocible como el subsistema de humedal o, por sí mismas, como ecosistema de humedal.

De cualquier manera, dentro de una gran diversidad de ambientes y ecosistemas, los humedales constituyen subsistemas en los cuales se concentran y se conectan muchos de los procesos ecológicos esenciales de una cuenca o una región: la regulación hidrológica e hidráulica, los flujos biogeoquímicos, el tráfico de los organismos vivos, la regulación climática. Por lo cual, su conservación amerita atención especial.

## DETERMINANTES AMBIENTALES Y FRAGILIDAD

En medio de la enorme diversidad de los humedales, la estructura y dinámica de cada humedal están determinadas por una serie de factores ambientales cuyo recuento permite entender su valor y fragilidad y orientar su conservación.

- Geofomas con capacidad de acumulación hidráulica: no hay humedal sin una depresión en el terreno donde el agua se acumule, al final de una superficie de drenaje. Esta depresión (el vaso del humedal) puede ser tan amplia como la plataforma continental y los planos de desborde de los grandes ríos, o tan pequeña como cualquier mínima ondulación en un terreno mal drenado. Zonas de subsidencia, fallas tectónicas, valles obstruidos, depresiones, cubetas aluviales, deltas, madre viejas, paranás, rebales, antiguos circos glaciares. Desde un descuido en el manejo de las acequias o vallados de un potrero, hasta el impacto de un meteorito, cualquier suma de hoyo y agua, al final de cualquier superficie de drenaje, propicia la aparición fugaz o permanente de un humedal. Esto también llama la atención sobre el privilegiado balance hídrico del que aún goza la mayor parte del territorio colombiano.

- Diversidad batimétrica y fluctuaciones del nivel del agua: la mayoría de los humedales presentan vasos con profundidades heterogéneas y fluctuaciones periódicas del nivel de las aguas determinadas por crecientes torrenciales (alta montaña), desbordes de los ríos y cambios en el patrón meándrico (planos aluviales) o las mareas (sistemas costeros y estuarinos). Esto, sumado, hace que diversas franjas estén inundadas o expuestas al aire en distintos momentos del año (o del mes o del día). Esto determina cuándo la franja en cuestión funciona como ecosistema acuático y cuándo como terrestre, conectándose a distintas cadenas tróficas. La diversidad batimétrica y la fluctuación de las aguas hacen que los humedales sean ambientes heterogéneos en el espacio y el tiempo, aumentando su capacidad de sustentar biodiversidad. Muchas aves, por ejemplo, dependen de los lechos expuestos cuando bajan las aguas para su forrajeo. Mientras que muchos peces tienen fuentes de alimentación y zonas de cría irremplazables en la vegetación terrestre inundada. Es como un teatro ecológico que con dos golpes de telón pudiera poner en escena distintas escenografías y libretos, en escenarios múltiples y con distintas temporadas al año.

- Pendiente del vaso: un factor en el que reparan los ingenieros más que los biólogos, es la pendiente de las paredes del vaso del humedal. Esta pendiente determina la razón entre la extensión de la lámina de agua y el incremento del volumen de agua retenida en un momento dado. También es definitiva para

varias funciones ecológicas. Con pendientes mayores, es mejor el drenaje del suelo no inundado en un momento dado, al tiempo que disminuyen las áreas inundables para un mismo tamaño de creciente. Esto hace que la transición ambiental entre fase terrestre y fase acuática sea más abrupta, lo cual se refleja en la estructura biótica como una discontinuidad o un ecotono más estrecho. Si las pendientes son suaves, se presentan franjas más amplias con distintas condiciones de inundabilidad y drenaje, propiciando ecotonos tan extensos que conforman sistemas de franjas concéntricas cada una de las cuales puede ser analizada como una comunidad biótica bien diferenciada con su propia estructura, composición y dinámica.

- **Fractalidad del litoral:** las orillas de un humedal son fractales típicos; fractales que además varían según el nivel de las aguas, pudiendo llegar a ser increíblemente extensos y complejos, como sucede en las lagunas de rebalse en las selvas de llanura de la Orinoquía y la Amazonia. Siendo estos bordes la interfase de intercambio agua – tierra, su forma y extensión son determinantes de varias funciones ecológicas. Un ejemplo mínimo: cuánta orilla puede recorrer un chorlito playero en su forrajeo por el borde de un humedal y cuántas parejas de chorlito podrían, en consecuencia, habitarlo en una estación de cría. La repetición fractal de penínsulas y ensenadas de distintos tamaños, a lo largo del humedal, es una parte importante de la heterogeneidad ambiental que provee hábitat para distintas especies con distintos requerimientos y es una de las explicaciones de la capacidad de carga y biodiversidad de estos ecosistemas.

- **Concentración y ciclado de nutrientes:** uno de los factores más estudiados en los ecosistemas lénticos es el ciclo de nutrientes y las variaciones de su concentración. La diversidad interna en la categoría “humedal” hace que el comportamiento biogeoquímico presente una heterogeneidad acorde. Sin embargo, hay hechos fundamentales que pueden generalizarse: un humedal es un hueco con agua al final de una superficie de drenaje, en el cual tienden a concentrarse los nutrientes de una cuenca, con distintos tiempos de residencia en la columna de agua, en la biota y en los sedimentos; los nutrientes de cada uno de estos tres compartimentos no están inmediatamente disponibles para las funciones de los otros dos y sólo fluyen de uno a otros en forma parcial y con retardos. El nivel de nutrientes del cuerpo de agua es, pues, un equilibrio estacionario, entre las entradas (abajo comentadas) y las salidas, de las cuales la principal es el efluente. A mayor concentración y reciclado de nutrientes, mayor productividad vegetal dentro del humedal, mayor velocidad de colmatación y menor tiempo de vida como ecosistema acuático.

- **Efecto dominante de la cuenca aferente:** dentro de la cuenca aferente, el humedal no puede estar en otro sitio sino al final y abajo. La mayor parte de los flujos y procesos ecológicos van en esa misma dirección. Como consecuencia, la mayor parte de las condiciones ambientales y dinámicas ecológicas del humedal dependen de las estructuras y eventos aguas arriba. En ecología es un lugar común decir que *“un ecosistema acuático es expresión de su cuenca”*. En el humedal esto es tan cierto como el agua, es decir que a mayor cantidad de agua mayor influencia de la cuenca aferente: en la fase terrestre la influencia es más sutil y presenta dinámicas más propias (es más autóctono), en las zonas inundables la influencia es más determinante, mientras que el cuerpo de agua está totalmente determinado (heterárquico), al punto que refleja más las concisiones de la cuenca que las de su ronda.

La fortaleza y la vulnerabilidad del humedal estriban en su carácter de reservorio, una acumulación de agua, nutrientes y organismos procedentes en su mayoría de otros ecosistemas. Por tanto, el humedal es un ecosistema totalmente subsidiado.

Las alteraciones que más fácilmente desmoronan la estructura del humedal tienen que ver con dichas entradas:

- El curso natural de los eventos es que los materiales entren en el humedal. Es más difícil que salgan. Como trampas biogeoquímicas, los humedales tienden a acumular, incluyendo los sedimentos de la erosión en las cuencas aportantes, los excesos de materia orgánica y nutrientes de la lixiviación y la erosión de suelos distantes y la polución de distintos tipos aportada por asentamientos, centros industriales y la agricultura. Cualquier evento que acelere las entradas de sedimentos o nutrientes precipitará la colmatación del humedal. Además, si un contaminante es bioacumulable o persistente, en el humedal encuentra todos los factores que refuerzan su permanencia y su ascenso en las cadenas tróficas.

- Si las entradas de agua son cortadas el humedal desaparece. Ej: taponamiento de caños que alimentan las ciénagas; desviación de aguas a otra vertiente; avenamiento de planos aluviales.

- Si las fluctuaciones del nivel de aguas y los intercambios relacionados con ellas, se suspenden, la estructura y dinámica del humedal se alteran drásticamente, pues el humedal vive en gran medida de dichas entradas. Ej: suspensión de los desbordes sobre los humedales aluviales; suspensión del intercambio de agua dulce y salobre en un estuario.

## ¿CÓMO ESTÁN ESTRUCTURADOS?

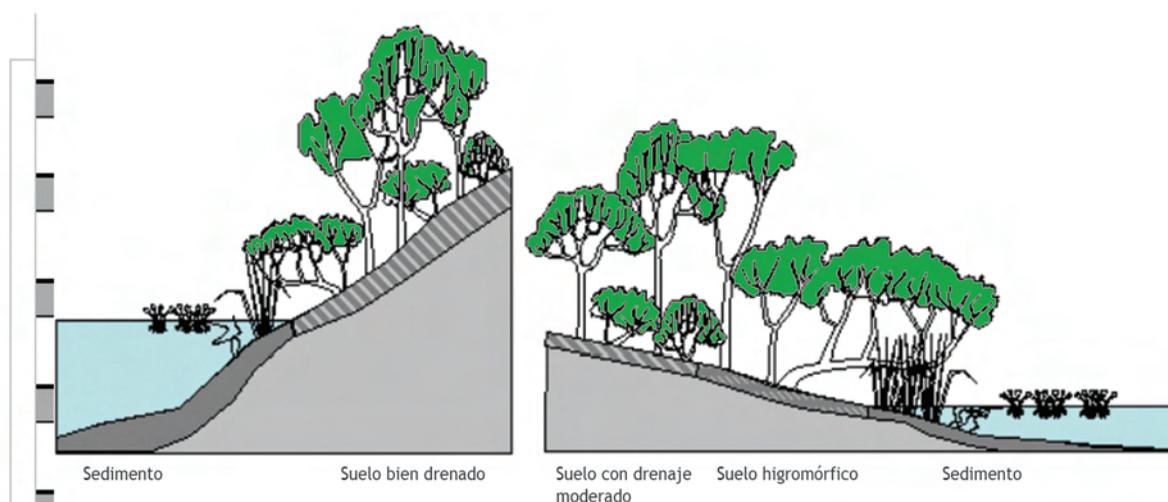
Los humedales son ecosistemas anfibios, con una estructura de franjas concéntricas, desde el ecosistema acuático hasta el terrestre. Esto implica una gran diversidad de estructura, composición y función, en la medida en que un humedal es, más que un ecosistema homogéneo, un complejo de ecotonos más o menos amplios según el caso.

Tanto para fines de análisis como para los de manejo, el humedal debe ser abordado integralmente, pues sus distintas franjas no sólo están estrechamente interrelacionadas, sino que, además, fluctúan con el nivel de las aguas, por lo que el área que hoy se comporta como ecosistema terrestre puede encontrarse como ecosistema acuático bien funcional a la vuelta de unas horas, meses o años y viceversa.

Considerados así, íntegramente, los humedales presentan tres fases cuya extensión y complejidad interna puede variar mucho de un humedal a otro y en el tiempo:

- Fase acuática: caracterizada por un cuerpo de agua permanente. Algunos humedales pueden no presentarla.
- Fase anfibia: una serie más extensa o más breve de franjas inundables en derredor, desde las más bajas, que se inundan más años y durante más días al año, hasta las que sólo se inundan en los años y días de crecientes máximas.
- Fase terrestre: cercana al humedal y nunca cubierta por las aguas; puede ser continua o discontinua (rodeada de zonas inundables, como las restingas de la Amazonía).

En general, la fase terrestre corresponde al segmento más bajo de las laderas vecinas, es decir, los suelos en los que se acumula la escorrentía superficial y subsuperficial de la superficie de drenaje que corre hacia el humedal. En consecuencia, las formaciones vegetales de la fase terrestre corresponden, usualmente, a las propias de los suelos con drenaje lento o deficitario.



Dependiendo de la pendiente del vaso y la amplitud de las crecientes, la extensión de las dos fases y las transiciones pueden ser más o menos extensas.

En un humedal con pendientes fuertes y poca fluctuación del nivel de las aguas, la fase anfibia puede ser virtualmente inexistente, como de hecho ocurre en muchas lagunas tectónicas engastadas en las vertientes andinas. En tal caso sólo existe un borde abrupto entre una comunidad biótica acuática y otra terrestre que no se diferencia significativamente de otras en condiciones similares de clima y suelo en los alrededores.

En un humedal con pendientes escasas en el vaso y sus alrededores y fluctuaciones fuertes del nivel de las aguas, las franjas anfibia con distintos períodos de anegación son muy extensas.

Dependiendo de su extensión, este sistema de franjas concéntricas puede ser interpretado como un ecotono agua – tierra, o toda una ecoclina, es decir, un encadenamiento de comunidades bien diferenciadas que se relevan gradualmente a lo largo de un amplio gradiente de inundación y drenaje.

La estructura vegetacional de los humedales está determinada por la pendiente del terreno y la amplitud de las crecientes. En la siguiente figura se esquematizan dos situaciones contrastantes: un humedal con pendientes fuertes y poca amplitud de creciente y otro con las condiciones opuestas, con una amplia franja inundable.

En el primero, la transición es abrupta. En cambio, en el segundo, las franjas alcanzan mayor extensión, y la transición es más suave.

En el segundo puede verse una transición entre los suelos moderadamente drenados y aquellos con drenaje deficitario, afectados por la acumulación de la escorrentía al final de la pendiente, la proximidad de la capa freática y las inundaciones. Tales suelos son típicamente higromórficos y presentan restricciones severas al desarrollo de la vegetación de mayor porte, consistentes en la falta de oxígeno en el suelo, lo que lleva a una descomposición incompleta de la materia orgánica que tiende a acumularse en forma de turba, lo que a su vez conlleva un pH bajo. Sin embargo, existen varias especies de árboles y algunas palmas (Ej: *Mauritia flexuosa*, *Bachtrix spp.*) adaptadas a este régimen, lo cual les confiere la ventaja de colonizar ambientes con poca competencia interespecífica. Además, estas especies tienden a segregarse en franjas con diferentes regímenes de inundación, lo que reduce aún más la competencia interespecífica al tiempo que determina una muy baja diversidad en cada franja pero una suma bastante mayor del complejo (baja diversidad alfa y alta diversidad beta).

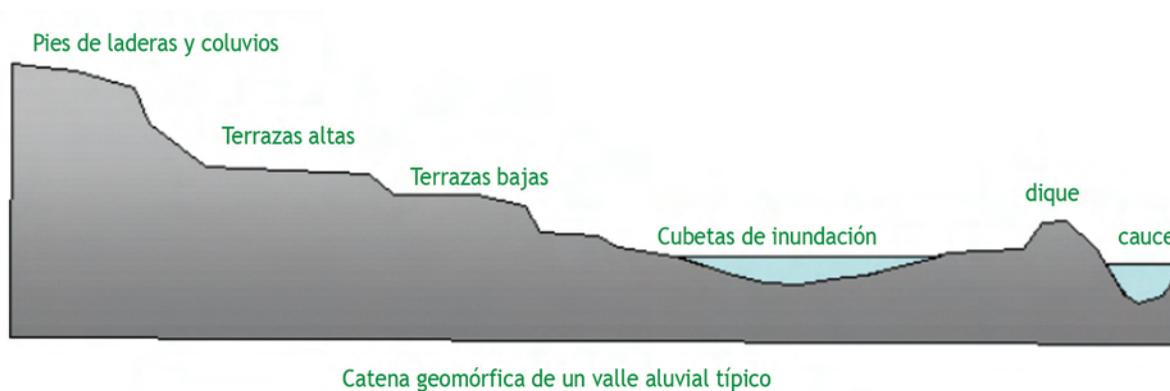
Cuando las fluctuaciones en el nivel de las aguas no son demasiado grandes, típicamente se desarrollan franjas concéntricas de hierbas acuáticas (comúnmente denominadas “macrófitas acuáticas” que es como los limnólogos las diferencian de las algas que hacen el resto de la flora), empezando con las enraizadas emergentes (ej: juncos, eneas y totoras) que compiten agresivamente por los suelos más saturados de las orillas y las zonas someras donde logran anclar. A mayor profundidad se localizan las enraizadas sumergidas (ej: *Elodea*, *Potamogeton*, *Egeria*) que pueden llegar a formar grandes masas, dependiendo de la concentración de nutrientes, la profundidad y la corriente. Sobre las zonas más profundas se disponen las franjas de las plantas flotantes (Ej: lenteja de agua, buchón y helecho de agua; respectivamente: *Lemna spp.*, *Eichornia crassipes* y *Azolla*). Las flotantes tienden a acumularse en las zonas de menor corriente y donde pueden trabarse con la vegetación enraizada, por cual tienden a formar una franja continua a continuación de las anteriores.

En los humedales con grandes cambios de nivel de aguas que suman varios días al año, como en los estuarios y deltas (por efecto de las mareas) o en los planos de inundación de los grandes ríos (grandes inundaciones anuales), las macrófitas enraizadas son muy escasas y la vegetación dominante son árboles con adaptaciones sorprendentes como las distintas especies de mangles o los árboles de la varzea amazónica que pueden pasar varios meses totalmente sumergidos. En estas condiciones incluso las macrófitas flotantes escasean pues tienden a ser arrastradas por el flujo y refluo de las crecientes.

Uno de los tipos de humedal más frecuente en el país y dentro del SPNN es el humedal de plano aluvial o laguna de desborde, que en cada región puede recibir distintas denominaciones. La estructura

característica de estos humedales corresponde al segundo caso arriba analizado: pendientes escasas y fuertes inundaciones, por lo que estos ecosistemas presentan uno de los mayores y más diversos complejos de comunidades vegetales inundables. Dichos bosques inundables son denominados rebalses (altos, medios y bajos) en varias regiones del país. Su dinámica está muy determinada por la frecuencia de inundación y las características químicas de las aguas del desborde, como se refleja en la clásica división de varzea e igapó en los bosques amazónicos inundados, respectivamente, por aguas blancas ricas en nutrientes, procedentes de los andes, o por aguas negras pobres en nutrientes, de los ríos nacidos en selva.

La siguiente figura ilustra la estructura geomorfológica que sirve de base a un típico humedal aluvial.



En los últimos milenios el cauce se ha profundizado por disección, por lo cual su antiguo plano de desborde ha quedado al margen de las inundaciones, como terrazas altas (más antiguas) y bajas. Sobre el borde del actual plano de inundación las crecientes depositan sedimentos en forma diferencial, de modo que las áreas más cercanas reciben una deposición mayor, con lo que se van formando diques paralelos al cauce. Las ondulaciones en el plano de desborde, la escasa pendiente del mismo (permanentemente allanada por los sedimentos) y el dique se suman para conformar la cubeta de inundación. Los brazos y meandros abandonados por la evolución hidráulica del río pueden conformar otras tantas cubetas de inundación, alargadas y paralelas al curso actual y con conexiones más o menos estacionales con el mismo.

La retención de la escorrentía difusa o canalizada (cursos afluentes) en la cubeta de inundación produce acumulaciones de agua más o menos permanentes, conocidas como lagunas de desborde.

Esta denominación halla su razón en el hecho de que estos cuerpos de agua tienen una segunda entrada: cuando el curso principal crece, represa sus tributarios y juntos se elevan, desbordando los diques e inundando el plano aluvial. Cuando el río vuelve a bajar, el agua, los nutrientes y muchos organismos quedan atrapados en las cubetas de inundación cuyo nivel va descendiendo gradualmente (junto con la concentración de oxígeno), llegando a desecarse totalmente en los casos en que la escorrentía directa de las superficies tributarias no logre reponer las pérdidas por evaporación e infiltración.

Cuando los planos aluviales están muy lejos de las cordilleras, como sucede llano adentro y selva adentro (Orinoquia y Amazonia), no se encontrarán terrazas ni pies de ladera cercanos al plano aluvial. En estas situaciones los puntos altos corresponderán a lomeríos de diversa altitud y extensión, los cuales pueden ser verdaderas islas de tierra firme en medio de un mundo aluvial dominado por las inundaciones.

## ¿CÓMO FUNCIONAN?

Por su dinámica hidráulica, tanto la biota como los flujos de energía y nutrientes están condicionados por las fluctuaciones de las aguas en la cuenca.

En el funcionamiento hidrológico del humedal es preciso diferenciar tres entradas:

- Los cursos afluentes, los cuales transportan materiales, propágulos y organismos de las cuencas superiores.
- La escorrentía directa, que son las aguas que drenan directamente de las superficies aledañas al humedal, en forma difusa o a través de cursos de primer orden. Este flujo es importante en la relación del humedal con los cambios en su entorno inmediato.
- Las crecientes, impulsadas por las dinámicas torrenciales, fluviales o mareales (según la posición del humedal), las cuales promueven el intercambio de energía, materiales y organismos con otros ecosistemas, conectados de modo más o menos intermitente con el humedal.

Estos flujos no sólo son entradas de agua, son las principales entradas de energía de este tipo de ecosistemas dado que:

- 1) Los humedales dependen básicamente de la productividad terrestre. Su productividad autóctona es generalmente muy inferior a la que ingresa con los flujos mencionados.
- 2) Toda la dinámica del humedal y, en especial, el modelado de la base geomorfológica y los flujos de nutrientes, materia orgánica y organismos, están determinados por las fuerzas hidráulicas. Por tanto, las entradas de agua son el motor hidráulico de la máquina hidráulica que es un humedal.

Biogeoquímicamente, los humedales funcionan como trampas de materiales, pues la reducción abrupta de la velocidad del agua de los canales y quebradas al entrar al vaso, fuerza la precipitación de muchas partículas en suspensión y detiene los materiales más gruesos acarreados por el fondo de los cauces.

Debido al arrastre diferencial entre partículas gruesas y finas, las primeras, como gravas y arenas, suelen desplazarse menos y depositarse preferencialmente en los pies de las laderas de donde se erosionaron (formando pequeños coluvios y aluviones). Las partículas más finas son llevadas más lejos en solución o en suspensión, llegando hasta los cursos bajos.

De este modo, los humedales se enriquecen naturalmente con partículas finas (limos, arcillas) ricas en nutrientes. El desborde estacional de los humedales favorece la acumulación de estos materiales (y otros de aluvión más gruesos, procedentes de los ríos conexos) en la formación de los suelos adyacentes. Por tal razón, los suelos en las rondas de los humedales son ricos en materiales finos, de formación reciente, alto contenido orgánico, estructura pobre y, por supuesto, en condiciones naturales, anegados buena parte del año.

Con la excepción de los lagos oligotróficos (baja concentración de nutrientes) de alta montaña y de igapó, los humedales son ecosistemas de alta productividad, siendo como son, mediadores en grandes flujos geográficos de agua y nutrientes.

Sin embargo, en la productividad que sostiene al humedal es preciso diferenciar:

- La productividad alóctona: representada en la biomasa y la materia orgánica producida por otros ecosistemas y que entra al humedal con los afluentes y las crecientes.
- La productividad autóctona, la cual comprende:
  - Producción terrestre: proveniente de la vegetación de la fase terrestre y de la vegetación vascular anfibia de la fase anfibia. La primera fluye al vaso del humedal con la escorrentía directa. La segunda generalmente se produce durante las aguas bajas y luego es incorporada directamente a la fase acuática por las inundaciones. Esta productividad depende de la fertilidad de los suelos, la cual a su vez está dada por las características de las aguas de desborde (actuales y del pasado).
  - Producción acuática: comprende dos procesos distintos, la productividad del plancton y la de las macrófitas (en su mayoría plantas vasculares). Si bien suele ser bastante inferior a las otras fuentes, la productividad acuática juega un importante papel en la regulación de los flujos y concentraciones de nutrientes en el agua, así como en los procesos de colmatación que determinan el tiempo de vida del humedal como ecosistema acuático.



Dada la proporción de la productividad autóctona, en el funcionamiento trófico de la fase acuática del humedal predomina, necesariamente, la vía detrítica. Es decir, que el mayor flujo de energía del humedal y de su fase acuática es el ingreso, consumo y descomposición y emisión de residuos de la materia orgánica y la biomasa autóctonas.

Esto explica que las cadenas tróficas sean extremadamente largas e incluyan a varios detritívoros y saprófagos, incluidos varios de gran tamaño (Ej: bagres y, en alguna medida, crocodílidos). De hecho, un aspecto notable de la mayoría de los humedales es su alta biomasa animal (y productividad secundaria), en comparación con otros ecosistemas.

Esto tiene varias consecuencias. Entre otras:

- Los humedales son una fuente vital de proteína animal para muchas comunidades humanas.
- Son hábitat y fuente de alimento para una gran diversidad y abundancia de fauna terrestre, anfibia y acuática, incluyendo una extensa avifauna.
- Los humedales son muy vulnerables a la contaminación o suspensión de los afluentes y las crecientes.
- Cualquier deterioro de los humedales repercute en multitud de cadenas a través de la red trófica a escala regional, afectando áreas extensas y diversos ecosistemas.

La macrofauna acuática y anfibia del humedal funciona, además como trampa de nutrientes: es mucho el fósforo y otros nutrientes que se almacenan en un nivel estacionario dentro de una población de caimanes, manatíes o grandes bagres, quedando fuera de alcance para la eutrofización y la proliferación de macrófitas. De este modo, estos animales contribuyen a regular la circulación de nutrientes y a controlar los procesos de colmatación.

Aquí tiene su fundamento ecológico la creencia tradicional de las comunidades locales de que si se matan las babillas, se “apichan” las ciénagas (el agua se pone verde con la eutrofización).

Así mismo, el papel de los manatíes como grandes herbívoros acuáticos en el control de la proliferación de macrófitas y el mantenimiento de los canales aferentes y eferentes de los humedales es bien conocido.

Los humedales son espacios que concentran flujos biológicos y, por tanto, biodiversidad, al tiempo que representan un elemento fundamental de la diversidad beta de los paisajes de los que hacen parte.

Adicionalmente, son hábitats propicios para los endemismos (especies animales y vegetales que sólo existen en un área reducida del planeta), pues se trata de un ambiente bien diferenciado y disperso a través de una matriz de distintos ecosistemas terrestres (o marinos), con variadas condiciones de aislamiento y conexión y con abundancia de transiciones y ecotonos, ofreciendo las condiciones más propicias para el desarrollo evolutivo de nichos particulares.

La fauna del humedal está compuesta por las especies residentes, visitantes y migratorias. Las primeras están distribuidas en comunidades más o menos asociadas a las distintas franjas de humedad –vegetación.

Las visitantes están en su mayoría conformadas por animales que frecuentemente se desplazan a lo largo de las cuencas, entre las partes altas y los humedales.

Por último, estos cuerpos de agua son una estación importante para numerosas especies de aves migratorias que hacen escala en los humedales colombianos en sus viajes anuales, que pueden ser tan extensos como de Alaska a la Patagonia.

La posición orográfica inferior del humedal, como la mayoría de los ecosistemas lénticos, hace que se vean sometidos a un proceso de colmatación, a medida que la depresión que constituye su vaso va siendo rellenada por los sedimentos aportados por los afluentes.

En la colmatación, la sedimentación, es decir, el llenado con aportes minerales de los afluentes y las crecientes, coadyuva con el proceso de eutrofización o enriquecimiento de los flujos de nutrientes del ecosistema, en dirección a la conversión del humedal en tierra firme.

El enriquecimiento organomineral paulatino del cuerpo de agua determina un aumento de la concentración de nutrientes que avanza con la edad del humedal. Aumenta, en consecuencia, la productividad de las plantas acuáticas (tanto microscópicas como superiores).

El principal nutriente promotor de la eutrofización es el fósforo; los fosfatos libres causan la mayor parte de la aceleración de la producción vegetal dentro del humedal.

Cada gramo de nutrientes aportado por la escorrentía se ve multiplicado por la masa de gases atmosféricos (CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>) que son incorporados como material vegetal sólido, vía fotosíntesis, principalmente por las macrófitas acuáticas. Esta producción vegetal es luego depuesta como necromasa que se descompone lentamente y se acumula como parte importante de los sedimentos en el fondo del vaso.

La tendencia del proceso es hacia un enriquecimiento progresivo de las concentraciones de nutrientes y materia orgánica en solución y suspensión y al levantamiento del fondo por acumulación de materiales (pérdida de profundidad del vaso) con lo que los sedimentos cada vez son más accesibles a las raíces de las plantas o pueden ser resuspendidos con mayor frecuencia por las turbulencias de los afluentes o las impulsadas por el viento.

Con el aumento de la materia orgánica en suspensión y en los sedimentos, la descomposición consume volúmenes crecientes de oxígeno y el cuerpo de agua presenta condiciones de anoxia cada vez más frecuentes y prolongadas. Esto ciertamente limita la descomposición de la materia orgánica y favorece su acumulación, al tiempo que limita la cantidad y diversidad de seres vivos que el agua puede albergar.

De este modo, la colmatación – eutrofización va haciendo que las condiciones en cada zona del humedal sean cada vez más terrestres y, así, más afines a las de la franja externa inmediata. Esto propicia que las plantas de una franja colonicen la franja interior: las flotantes se extienden sobre el antiguo espejo libre, las enraizadas logran asentarse donde estaban antes las flotantes, las emergentes se extienden hacia las masas acuáticas y, finalmente, los arbustos y árboles de las márgenes comienzan a colonizar las porciones más consolidadas de la turba formada por las plantas acuáticas, la cual se va transformando paulatinamente en suelos higromórficos.

Con todo ello, la fase acuática del humedal va reduciéndose, hasta que éste se *terrifica*, en otras palabras, se convierte en un ecosistema terrestre y virtualmente pierde su estructura y función de humedal.

Por supuesto, este proceso está limitado por las pendientes del vaso y la amplitud de las crecientes. Mayores valores en estas variables favorecen la conservación del humedal. Valores bajos aumentan la vulnerabilidad del humedal al proceso de eutrofización, colmatación y terrificación, al tiempo que facilitan el avance de la sucesión terrestre sobre las fases anfibia y acuática.

La composición y estructura de la vegetación que en un momento y lugar dados puede encontrarse en la ronda de un humedal, se enmarcan en tres dinámicas:

- La destrucción de la vegetación nativa por diversos factores (tala, fuego, pastoreo) y la introducción intencional o espontánea de especies exóticas.
- La regeneración de la vegetación nativa pasando por las distintas etapas y especies que componen la serie sucesional de cada una de las franjas del humedal (colinas, planicie, orilla, etc.).
- La colonización de una franja por vegetación propia de la franja vecina más seca, reflejando la disminución de la humedad del suelo y la contracción del humedal (terrificación).

Los humedales son considerados ecosistemas estratégicos, pues concentran geográficamente la prestación de varios servicios ambientales. Esto significa que cumplen con funciones que sostienen y enriquecen la vida del hombre y posibilitan el desarrollo de los sistemas productivos humanos, a una escala y costo tales que la sociedad no está en capacidad de sustituir con sistemas artificiales. Por tal razón, el desarrollo de la ciudad necesita incorporarlos como parte de su infraestructura básica.

Dadas las condiciones particulares de las estructuras biofísicas y los procesos ecológicos en los humedales, estos ecosistemas, adecuadamente manejados, proveen de modo seguro y económico varios servicios ambientales, entre otros:

- Conservación de la biodiversidad (en especial de la fauna endémica y migratoria).
- Mantenimiento de la conectividad ecológica entre las tierras altas y los ríos (o el mar).

- Amortiguación hidráulica de las crecientes (prevención de inundaciones).
- Recarga de las aguas subterráneas.
- Regulación del flujo de nutrientes o contaminantes a través de la cuenca.
- Hábitat de cría para los recursos hidrobiológicos de los ríos y mares.
- Provisión constante de proteína animal barata y de alta calidad.
- Diversidad y calidad sensorial del paisaje (valor escénico).
- Oferta biofísica para la recreación y la educación ambiental.

Aunque no suele ser tenido en cuenta como servicio ambiental, el aporte de los humedales al aislamiento geográfico de ciertas áreas, como restricción de la accesibilidad, es ciertamente una ventaja cuando se trata de conservar la biodiversidad de las mismas.

## FACTORES DE HOMEOSTASIS DE LOS ECOSISTEMAS DE HUMEDAL

En su mayoría, los humedales no son ecosistemas frágiles. De hecho, el deterioro o degradación de tantos humedales en Colombia, no habla de la fragilidad de estos ecosistemas, sino del empeño y la tenacidad de un modelo de ocupación y desarrollo equivocado.

La homeostasis de un sistema abierto puede ser analizada en términos de resistencia y resiliencia.

Los principales factores de resistencia de los humedales incluyen:

- Como extensiones acuáticas o inundables y como ambientes siempre cambiantes, presentan restricciones significativas al acceso, la ocupación y el aprovechamiento.

Los sistemas de alteridad de las culturas tradicionales anfibias, no violan dicha resistencia, pues no alteran significativamente el ecosistema, sino que lo acceden, ocupan y aprovechan de modo adaptativo. Estas comunidades representan maravillosos modelos de desarrollo armónico y sugestivos ejemplos de felicidad y solidaridad entre hombres y entre hombre y naturaleza.

- El contenido de humedad de los humedales los hace, en general, muy resistentes al fuego. Sin embargo, algunos tipos presentan dinámicas naturales de fuego en la estación seca, que pueden ser forzadas por el hombre (Ej: los esteros de los llanos). Además, cuando la fase terrestre corresponde a ecosistemas mésicos o pirófilos, su vulnerabilidad al fuego será alta como corresponde a tales. A fin de cuentas, un humedal es una variación típica dentro de distintos tipos de ecosistema, por lo que incorpora las dinámicas de cada cual.

- Como reserva de agua, los humedales representan un factor vital de resistencia a la escasez permanente o estacional en los ecosistemas sometidos a dicho estrés. Por tal razón, los humedales son especialmente importantes en la conservación de ecosistemas áridos o con estaciones secas muy marcadas, en los cuales son vitales para la supervivencia de gran parte de la fauna, elevando la capacidad de carga y la biodiversidad de los mosaicos ecológicos en que participan.

Los principales factores que explican la alta resiliencia de los humedales incluyen:

- Los factores determinantes de la estructura y función del humedal son hidráulicos. Por tanto, la homeostasis del humedal se beneficia de la resiliencia de la red de drenajes, la cual suele ser alta, con una fuerte tendencia a mantener y recuperar su dinámica natural, salvo ante alteraciones hidráulicas o climáticas muy severas y extensas que, aunque llamativas, no son tan frecuentes.

- Los humedales concentran flujos de agua, materiales, energía y organismos a escala regional, no sólo de su cuenca aferente, sino de otros muchos ámbitos. Por ello, su resiliencia se basa no sólo en la disponibilidad constante de tales elementos constitutivos, sino en la resiliencia respectiva de los procesos ecológicos regionales que los aportan (migraciones, inundaciones, erosión, etc.).

- Los humedales están determinados por el funcionamiento ecológico de grandes extensiones, lo cual les da una base regulatoria muy amplia. En otras palabras, cuando un flujo falla, otros muchos compensan.

Por lo mismo, el deterioro de un humedal es especialmente preocupante, porque suele relacionarse con el deterioro generalizado y avanzado de toda una cuenca.

- Por supuesto, la diversidad y la riqueza en adaptaciones de la biota palustre, lacustre o estuarina y la alta densidad y complejidad de interacciones forjadas por la coevolución entre las distintas poblaciones biológicas, confiere a la red trófica y la sucesión de los humedales una resiliencia notable.

- Sería una omisión inexcusable señalar la resiliencia cultural, es decir la fundada en la densidad y complejidad de relaciones entre las culturas y los humedales, como uno de los componentes principales de la resiliencia total de estos ecosistemas. La importancia de la conservación de los humedales en las culturas tradicionales, así como el papel que han jugado históricamente en el desarrollo de grupos y movimientos conservacionistas son muestras de ello.

La elevada resistencia y resiliencia de los humedales, les permite amortiguar muchos tensionantes leves y severos, en beneficio de su propia conservación y del mantenimiento de los procesos ecológicos regionales que confluyen en ellos.

Puede decirse, por tanto, que los humedales son uno de los principales homeostatos de cualquier ecosistema o región y, por derecho propio, parte de la lista prioritaria de ecosistemas estratégicos (ecosistemas vitales sensu UICN) en cualquier escenario.

## FACTORES TENSIONANTES TÍPICOS Y PATRONES DE ALTERACIÓN

Los ecosistemas de humedal presentan una preadaptación debida al régimen natural de tensionantes de estos ambientes, compuesta por adaptaciones específicas a:

- La estacionalidad de las inundaciones, con franjas de especies con distintas tolerancias a la desecación o el anegamiento. Un tensionante con periodicidad.

- Los cambios hidráulicos que modifican constantemente el régimen de inundaciones y de sedimentación de cada área. Una alteración constante, pero sin periodicidad.

Que la evolución de la flora en los humedales ha estado moldeada por este régimen de cambio constante se refleja en la velocidad con que la sucesión responde incluso a grandes perturbaciones.

En la base de esta notable resiliencia de los humedales se encuentra la permanente disponibilidad de agua y, casi siempre, de nutrientes procedentes de toda la cuenca. Con la excepción de los humedales de alta montaña, la temperatura tampoco es limitante.

De este modo, la productividad es relativamente alta y aunque una parte importante se exporta en el efluente o paga el costo metabólico de resistir a la alternancia de sequía e inundación, en general los excedentes permiten un desarrollo vigoroso de la vegetación.

En la transformación antrópica de estos medios se pueden distinguir dos cursos opuestos: uno adaptativo, propio de algunas comunidades indígenas y de pescadores donde las adecuaciones son escasas y se limitan al mantenimiento de algunos canales, el despeje y cultivo de algunas áreas firmes o poco inundables y la acuicultura. Adaptación anfibia de las comunidades humanas.

Otro es un curso eminentemente adecuativo donde el hombre procede a regular la frecuencia y extensión de las inundaciones y al reemplazo de la vegetación nativa por cultivos hidrófilos, de los que el principal ejemplo es el arroz, el cultivo más extenso de la humanidad, aunque en el caso colombiano, desde tiempos precolombinos, los humedales han sido adecuados al cultivo de variedades resistentes de maíz. Conversión agrícola.

En el extremo de esta tendencia encontramos otros dos regímenes de alteración fuerte. Uno es el caso de la ganadería extensiva de bovinos que luego de desplazar a la población indígena o campesina de las mejores tierras, irrumpe en las zonas inundables bien sea para usarlas como pastos de verano y luego, mediante la desecación sistemática y la introducción de pastos resistentes a la humedad, como potreros



permanentes. Esta transformación va acompañada de una extensa deforestación característica de este sistema de alteridad. Conversión ganadera.

El segundo caso representa la tendencia menos adaptativa que expresa la representación cultural de los humedales como medios peligrosos e insalubres o, cuando menos, como obstáculos para el desarrollo de las actividades humanas. En tal caso, los humedales son desecados y rellenados mediante gran ingeniería y fragmentados o reemplazados por infraestructura y asentamientos industriales o residenciales. Conversión urbana del ecosistema.

Entre los tensionantes leves que más comúnmente afectan a los humedales se cuentan:

- Vertidos ocasionales de basuras y otros residuos (no peligrosos).
- Aumento de las tasas de sedimentación por incremento de la erosión en la cuenca (ej: minería).
- Destrucción de la vegetación nativa de la ronda (tala, roza, quemadas, etc.).
- Pastoreo en la ronda (destruye vegetación, compacta suelo y deposita estiércol en el agua).
- Introducción intencional o accidental de flora exótica.
- Contaminación sonora e hídrica por motores de embarcaciones.
- Destrucción de hábitats de fauna.
- Cacería furtiva (especialmente de aves acuáticas y pequeños mamíferos).
- Depredación de fauna nativa por animales domésticos u otros asociados al hombre (cerdos, gatos, perros, ratas).
- Fragmentación y desaparición de los corredores boscosos de conexión entre las tierras altas y los humedales.

Cabe recordar que el mantenimiento crónico de los tensionantes leves acarrea el deterioro paulatino de un ecosistema y su eventual degradación.

Entre los tensionantes severos que con mayor frecuencia afectan a los humedales en el país, se cuentan:

- Alteración hidráulica de las entradas al humedal por obras viales, por canalización o por obstrucción con intención expresa de desecar.
- Alteración hidráulica del régimen de inundaciones en proyectos de ampliación de superficies cultivables o de prevención de desastres o por construcción de embalses aguas arriba.
- Contaminación con derrames de hidrocarburos (errores de operación, robo de combustible y atentados en oleoductos y poliductos).
- Contaminación con agrotóxicos peligrosos.

El proceso natural de terrificación de un humedal, que puede abarcar décadas, siglos o hasta milenios, en condiciones naturales, generalmente es acelerado por la intervención humana. El aumento de la erosión en las cuencas altas, de los vertimientos de materia orgánica y compuestos fosforados (principalmente detergentes), sustancias altamente tóxicas como biocidas y metales pesados (que aumentan la demanda bioquímica de oxígeno), son algunos de los principales factores antrópicos que aceleran la eutrofización, colmatación y eventual terrificación de los humedales.

La degradación de los humedales presenta dos tendencias generales en Colombia: la formación de focos de contaminación hídrica y la terrificación. Ambas comprometen la seguridad hídrica a mediano y largo plazo, en especial en las regiones más pobladas, así como la salud pública, el empleo y el desarrollo económico de las regiones afectadas.

Como indica el profesor Márquez (2004), uno de los aspectos más tristes de la destrucción de los humedales junto con la desaparición de los bosques naturales, es la reducción paulatina de las posibilidades de acceso directo de la población a los recursos naturales, lo que agrava la situación de pobreza de grandes sectores de la población y refuerza el modelo histórico del desarrollo socioeconómico colombiano, basado en el despojo, la destrucción, el desperdicio, la ocupación ociosa del territorio y las fuertes asimetrías en la distribución de la renta derivada de los recursos naturales. *“Muchas son las penas en casa del pobre, pero las penas con bocachico son menos”.*

Debido a los patrones de ocupación y alteración arriba expuestos, muchos humedales se convierten en focos de ocupación o vecindario de los mismos. Entre los tensionantes severos que afectan a los humedales vecinos de los asentamientos humanos, se cuentan:

- Relleno sistemático con basuras, tierras y escombros.
- Desestabilización hidrológica por minería y urbanización en las cuencas tributarias.
- Alteración hidráulica (pérdida del ritmo de inundaciones por obras de regulación).
- Avenamiento o drenaje artificial (ej: construcción de canales vecinos por debajo del nivel de aguas del humedal).
- Vertimientos de aguas servidas domésticas e industriales.
- Contaminación con sustancias altamente tóxicas (biocidas, metales pesados, PCBs).
- Urbanización de la ronda.

En la base de los problemas que afectan la conservación de los ecosistemas de humedal se encuentran cuatro factores principales:

- La ignorancia sobre la composición, función y valor del humedal, acompañada de una concepción errónea negativa de estos medios como insalubres, peligrosos, feos y opuestos al desarrollo (especialmente a la habitación y al transporte) es común entre las culturas de montaña, aunque ajena para las ribereñas y de selva.
- La tendencia general de la alteración antrópica del territorio a acentuar los desequilibrios geográficos de nutrientes, acelerando el transporte de los mismos aguas abajo (problemas de pérdida de suelos en laderas y eutrofización y sedimentación en cuerpos de agua). A ello se suma la concentración de vertimientos y residuos propia de las concentraciones humanas, para el caso de los humedales urbanos y periurbanos.
- El modelo histórico de ocupación del territorio en Colombia basado en el acaparamiento o la destrucción de los recursos naturales como estrategia de control y dominación sobre la población (Márquez, 2004).

## PAUTAS PARA EL MANEJO DE LOS HUMEDALES

El diagnóstico, manejo y monitoreo de los humedales debe integrar las distintas y complejas esferas de influencia del mismo, relacionadas con la diversidad de flujos o procesos ecológicos que en ellos confluyen.

Por tal razón, el manejo integral del humedal desborda, en muchos casos, el concepto convencional de manejo integral de la cuenca y requiere la consideración de otros ámbitos de influencia, tales como:

- Cuencas de los afluentes.
- Cuerpos de agua que desbordan sobre el humedal y sus respectivas cuencas.
- Ronda o zonas relacionadas por la escorrentía directa.
- Cuencas receptoras del efluente del humedal.
- Áreas fuente de las especies visitantes.
- Áreas de estación de las especies migratorias.
- Región de influencia económica de los servicios ambientales y recursos naturales provistos por los humedales (pesca, energía eléctrica, riego, control de inundaciones, amortiguación de vertimientos, etc.).

Es ampliamente sabido y experimentado que el concepto de “ronda hidráulica”, tal y como se plantea en el Artículo 81, literal d, del Código Nacional de Recursos Naturales (DL 2811 de 1974) se queda corto en diversas situaciones de manejo en todo el país. Sin embargo, este vacío técnico-jurídico es más notable en una situación hidráulica y ecológica tan compleja como la de la mayoría de los humedales.

En consecuencia, la franja de protección ambiental en torno a un humedal no debería definirse sólo por la amplitud de las crecientes, lo cual coincidiría aproximadamente con la fase anfibia. Debería, además, integrar la fase terrestre más inmediata. En la mayoría de los casos el criterio más útil para esta delimitación puede ser el área de escorrentía directa, definida como las superficies que drenan directamente al humedal

por escorrentía difusa (no canalizada), sea ésta superficial o subsuperficial, o a través de cursos de primer orden, sean permanentes, intermitentes (estacionales) o fugaces.

En cualquier caso, el manejo del humedal deberá considerarlo siempre como una unidad ecológica conformada por sus fases acuática, anfibia y terrestre. Aquí debe evitarse la confusión con el espejo o cuerpo de agua, el cual, hay que recordar, puede ser estacional e, incluso, en muchos casos, fugaz.

Una circunstancia a tener en cuenta es que la mayoría de los humedales del país son lagunas de desborde, en las cuales no es posible diferenciar estrictamente entre cuenca aferente y efluente, puesto que la última también aporta caudales al humedal en los eventos de reflujo o de desborde.

La restauración de los humedales tiene dos aspectos. En la mayoría de los casos, el mantenimiento o restauración del régimen hidráulico bastará para inducir la restauración del humedal. Sin embargo, en humedales severamente alterados, las intervenciones requeridas pueden ser más complejas.

En casos típicos de recuperación total de humedales degradados, la intervención se plantea en cuatro frentes o líneas de acción, los cuales deben adelantarse, aproximadamente en el siguiente orden de prioridad y precedencia:

- Recuperación hidráulica, que abarca varios aspectos:
- Restablecimiento de los tres tipos de entrada (afluentes, escorrentía directa y crecientes).
- Restablecimiento de la periodicidad y amplitud de las crecientes.
- Restablecimiento de la capacidad hidráulica (volumen y pendientes del vaso). Las profundidades y pendientes también sirven para ajustar las cotas de inundación y para prevenir el avance sucesional de la fase terrestre sobre la anfibia y la acuática.
- Restablecimiento (o mejoramiento) de la diversidad batimétrica, favoreciendo aquellas profundidades y cotas de inundación que más favorecen a las aves acuáticas.
- Fractalización del litoral, procurando patrones que aumenten la oferta de hábitat y amplifiquen el efecto de borde (salvo frente a zonas adversas, como suelos contaminados), por medio de penínsulas y ensenadas de distintos tamaños.
- Recuperación sanitaria: la recuperación de la calidad de agua en cada una de las tres entradas (afluentes, escorrentía directa y crecientes). Aquí es importante fijar metas de concentración de diferentes sustancias, teniendo en cuenta el nivel de nutrientes adecuado para cada tipo de humedal (oligo, meso o eutrófico) y el control del proceso de eutrofización y colmatación.

La recuperación de la calidad del agua es un campo, por sí mismo, extenso y complejo. Las medidas pueden abarcar desde el control de la erosión en la cuenca aferente, pasando por técnicas de control de la contaminación en la fuente (vertimientos domésticos e industriales), hasta la interceptación, conducción y tratamiento de los vertimientos o los caudales receptores, así como distintas técnicas de fitorremediación.

Uno de los principales tensionantes a prevenir y corregir es la introducción de metales pesados o contaminantes orgánicos persistentes<sup>2</sup>, debido al peligro de su acumulación ascendente en las cadenas tróficas, lo que representa una amenaza seria a la salud de las personas y la supervivencia de las aves acuáticas. La dificultad de la remoción de estos contaminantes obliga a priorizar la prevención por todos los medios posibles.

- Restauración biótica, en orden:
  - Revegetalización: el restablecimiento de la cobertura vegetal propia de cada franja del humedal debe tener en cuenta algunas pautas básicas.
  - Las grupos de especies propias de las franjas más cercanas a la fase acuática son generalmente cortas, debido a la transición inmediata de las pocas dominantes adaptadas a las condiciones especiales de

<sup>2</sup> Los principales contaminantes orgánicos persistentes (POPs, por su sigla en inglés) incluyen: organoclorados y organofosforados usuales en agricultura (estén o no en la lista del Convenio de Estocolmo); PCBs, usados como refrigerantes, principalmente en transformadores eléctricos que luego se abandonan como chatarra común; dioxinas y furanos, que se desprenden como vertimientos y lixiviados de incineradores, botaderos de basura y rellenos sanitarios. Todos ellos son resistentes a la degradación química y biológica (persistentes) y tienden a acumularse en el interior de los organismos y a concentrarse al ascender en las cadenas tróficas (bioacumulables).

higromorfia o inundaciones periódicas. Por tanto, la revegetalización puede proceder mediante una composición florística inicial con tales especies.

- Cada especie debe introducirse de acuerdo con su tolerancia específica a las inundaciones y al nivel freático. Terrenos que pueden parecer bien drenados a simple vista, pueden en realidad presentar niveles freáticos muy superficiales o drenajes muy deficitarios, lo que limita el desarrollo radicular de las especies no adaptadas a tales condiciones y la mortandad del material plantado.
- El diseño de la plantación debe procurar una provisión rica y diversa de hábitats y elementos claves para la avifauna: refugio, alimento, materiales y sitios de anidación, sitios de percha, sitios de cortejo, así como corredores adecuados para la movilidad a través de las franjas del humedal, teniendo en cuenta los requerimientos propios de cada especie en relación con cada uno de estos aspectos.
- La revegetalización debe evitar la homogenización de la periferia del humedal, procurando diversidad de densidades (más abiertas o cerradas) en cada franja y mantener las diferencias vegetacionales (florísticas y fisonómicas) propias de cada franja.
- La alternancia de corredores más abiertos o más cerrados (más o menos árboles) a través y conectando las franjas concéntricas, junto con la disposición de atractores (perchas, frutas muy apetecidas, sitios de anidación) en los extremos del gradiente, refuerza la movilidad transversal de la fauna (en especial de las aves) lo que refuerza el aprovechamiento integral del hábitat y aumenta la capacidad de carga.
- Refaunación: en general, la restauración de la fauna parte de la restauración del hábitat y la eliminación de tensionantes. Siempre que esto resulte suficiente, es preferible no abordar medidas de suplementación o reintroducción, por su complejidad y los riesgos asociados.

Esto es aún más cierto en los humedales, donde la convergencia del tráfico biológico regional, refuerza el repoblamiento espontáneo, en tanto sobrevivan poblaciones reproductoras viables y se controlen los tensionantes típicos, como la caza y la sobrepesca.

- Paisajismo: los humedales son uno de los parajes más bellos en las áreas silvestres de todo el mundo. Los contrastes, las formas fractales de la vegetación y del agua, los juegos de luces, reflejos y transparencias, los sonidos y silencios propios de estos ambientes; todo ello dando la ruta hacia la cual debe tender la restauración o rehabilitación de los humedales.

Por otra parte, se debe tener siempre presente que cualquier adecuación de estos ecosistemas para la recreación, el turismo o la educación ambiental debe estar subordinada en forma, localización y tamaño a los requisitos prioritarios de la preservación y la restauración y, en particular, al mantenimiento del hábitat y la tranquilidad de las aves.

Uno de los principios generales para la localización de senderos y facilidades turísticas en áreas protegidas, que puede ser de mayor utilidad en los humedales, es el del “pote de miel”; según dicen los norteamericanos: *“Es mejor poner un pote de miel en una esquina alejada, que tratar de matar o espantar todas las avispas en un día de campo”*. La estrategia consiste en concentrar la permanencia y circulación de los visitantes en las áreas menos frágiles y a la distancia suficiente de las aves, mediante la localización adecuada de los servicios, estancias y accesos.

Los factores arriba listados muestran el orden de prioridad y la secuencia normal de intervención para la restauración de un humedal.

La misma lista sirve para la priorización y chequeo de los requisitos de conservación. A modo de ejemplo, no tiene mucho caso ocuparse en la protección del contenido biótico del humedal, cuando su funcionamiento hidráulico o condiciones sanitarias están gravemente amenazadas, como no sea para mitigar los efectos de éstas sobre aquel.

## PAUTAS PARA EL MONITOREO

El monitoreo ambiental de los humedales debe priorizar:

- Los aspectos hidrológicos (caudales aferentes, amplitud de crecientes, batimetría, variaciones hidráulicas naturales), dado que son el motor del ecosistema.
- La avifauna (diversidad, distribución, migración, movilidad, nidación, cortejo, forrajeo), dado que son la prioridad de la conservación dictada por la norma.
- La macrofauna (crocodílidos, manatíes, nutrias, grandes peces), dado que son los principales reguladores de los flujos de nutrientes en las fases acuática y anfibia.
- Los tensionantes típicos, en especial aquellos que mayor amenaza representan: alteraciones hidráulicas, contaminación hídrica, sedimentación.
- La sucesión vegetal, con especial atención al crecimiento de las macrófitas acuáticas y el corrimiento de las franjas de vegetación, pues son el rasgo más visible de los procesos de colmatación y terrificación.



# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES DEL ECOSISTEMA DE HUMEDAL



Humedal de Santa María del Lago. Thomas McNish



## 1.1 HISTORIA DE FORMACIÓN



Figura 1.1. Sabana de Bogotá y su lago hace 35.000 años. En el piedemonte y vallecitos hay bosque altoandino bajo, caracterizado por especies de árboles y arbustos como el palo colorado (*polylepis*) y rodamonte (*escalonia*), en la parte media se presenta el páramo; y en las partes más altas hay nieve. Vista hacia los Cerros Orientales. Thomas van der Hammen.

Muchos de los humedales que existieron en la sabana de Bogotá desaparecieron y los que quedaron parecen haber cambiado seriamente. A través del estudio geológico histórico (geogénesis y geomorfología) se conoce cómo se formaron los humedales después de la desaparición del lago: ríos y quebradas formaron sus valles de erosión e inundación y zonas de mal drenaje con relativa impermeabilidad de los sedimentos del antiguo fondo de la laguna de la Sabana. En los valles se pueden diferenciar: a) los humedales de los valles de inundación (y sedimentación) temporal relativamente amplios de los ríos mayores y, b) las quebradas o valles, principalmente, erosivos que drenan la superficie plana de la sabana, cuyas aguas llegan a los ríos y que se llaman localmente chucuas. Los humedales de Bogotá pertenecen a estas dos categorías.

Para llegar a conocer más sobre la historia de estos humedales después de su formación inicial, se pueden estudiar los sedimentos que se hallan acumulados en ellos, utilizando varios métodos: análisis granular, análisis químico y análisis palinológico.

El sedimento que se encuentra en los humedales contiene así un archivo de su historia. La palinología o análisis del polen estudia (microscópicamente) el contenido del polen y esporas del sedimento (de algas y, eventualmente, otros microorganismos), lo que puede dar mucha información sobre el medio acuático y el medio terrestre, su vegetación y clima en el tiempo en que se formó, y los cambios que se presentaron en el curso de la formación de este sedimento.

### 1.1.1. PRIMERA FASE DE LA HISTORIA

La sabana de Bogotá fue durante gran parte del Pleistoceno (los últimos 2.5 millones de años) un gran lago, frecuentemente rodeado por una amplia zona pantanosa o temporalmente inundable. (Figura 1.1-1.2)

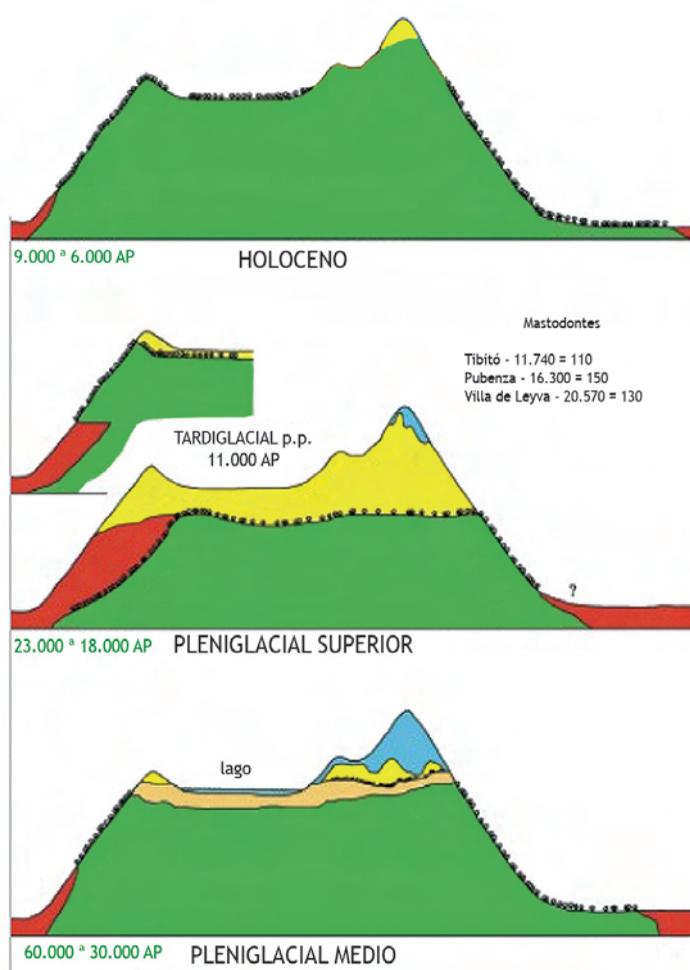


Figura 1.2. Secciones esquemáticas por la Cordillera Oriental y Sabana de Bogotá mostrando los grandes cambios en la vegetación. Parte inferior: hace unos 35.000 años (con laguna). Parte media: hace unos 20.000 años (máximo del último periodo glacial). Parte superior: hace unos 6.000 años (el Holoceno antes de la influencia del hombre). (Adaptado de Van der Hammen, public. div.).

En este tiempo se depositaron arcillas y turbas y, localmente, arenas que pueden llegar a tener un espesor hasta de 600 m en el centro de la sabana, y gradualmente menos hacia los bordes de la cuenca. Las arcillas son las más abundantes y son relativamente impermeables.

Este fondo se encuentra altitudinalmente entre 2.600 m (el nivel máximo alcanzado por la laguna) y 2.550 m en el extremo sur. Hay un declive suave desde las orillas (los cerros) hacia el centro y de norte a sur, pero el plano tiene ondulaciones. En las partes relativamente bajas y por el hecho que las arcillas son relativamente impermeables, se pueden formar pequeñas lagunas y pantanos.

Los ríos y quebradas que originalmente desembocaban en la laguna tienen que seguir ahora sus cursos sobre el antiguo fondo del lago, cortan su valle de inundación en los sedimentos y forman todos juntos el sistema del río Bogotá; volviéndose tributario de este río, que finalmente, transporta el agua superficial de toda la cuenca hacia la salida de Alicachín y luego al Tequendama.

### 1.1.2. SEGUNDA FASE: ENTRE 30.000 Y 10.000 AÑOS ANTES DEL PRESENTE

Hacia el final de la última glaciación, que terminó hace 10.000 años, la gran laguna desapareció. El clima era mucho más frío que el actual y el área se encontraba en la zona de páramo y bosque Alto-andino.

Entre 25.000 y 13.000 años antes del presente, la vegetación fue de páramo abierto relativamente seco, pero con humedales de páramo en las partes bajas de la superficie general y en los valles de inundación de los ríos y quebradas. Los datos que se tienen sobre la vegetación en esta época y la comparación con el páramo actual, nos indican que en los valles se deben haber desarrollado localmente turberas de páramo (o vegetación mesotrófica con el musgo *Sphagnum*) con frailejones y muchas otras plantas de páramo como *Gentianella*, *Geranium*, *Aragoa*, compuestas arbustivas, entre otras.

Aproximadamente entre 13.000 y 10.000 años antes del presente, el Tardiglacial, sube primero la temperatura y también la precipitación, con bosques de cucharo (*Myrsine*) y encenillo (*Weinmannia*), entre otros, luego se presenta la última etapa fría de la última glaciación, el estadal de El Abra, y la vegetación pasa a ser un páramo arbustivo o bosque altoandino, manteniéndose vegetación abierta de páramo en los valles y áreas pantanosas.

### 1.1.3. TERCERA FASE: LA PRIMERA PARTE DE LOS ÚLTIMOS 10.000 AÑOS

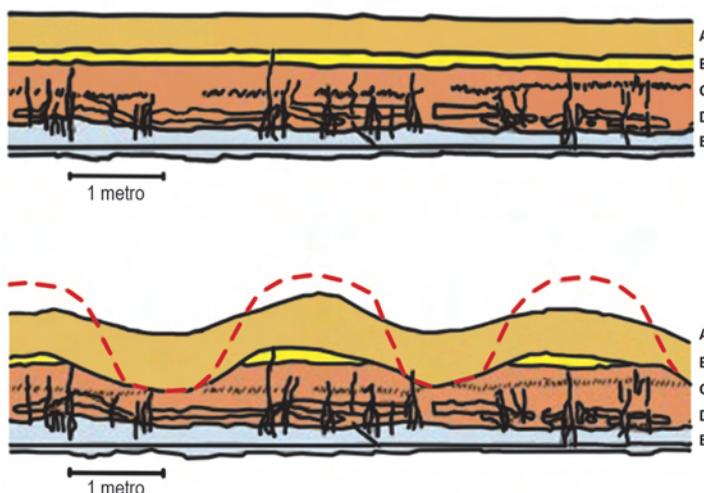
Hace 10.000 años comenzó el actual interglacial, el Holoceno, con el incremento definitivo de las temperaturas hasta el presente. En la planicie de la Sabana en las partes bien drenadas, se extendieron bosques de tipo andino, donde tendieron a dominar ciertas especies de árboles, como el arrayán (*Myrcianthes*), el raque (*Vallea*), y el paloblanco (*Ilex*). En partes menos drenadas o temporalmente inundables, se pudieron extender alisales con abundante aliso (*Alnus*), pero también con otras especies como raque (*Vallea*), tinto (*Cestrum*) y arboloco (*Smalanthus*). En los humedales eutróficos abundan sin duda plantas como juncos, eneas, y otras especies de los géneros *Myriophyllum*, *Ludwigia*, *Polygonum*, *Rumex*. En los valles de quebrada y río en la planicie, existieron también bosques ricos en aliso y vegetación de pantano eutrófico. No obstante, hay fuertes indicios que pudo permanecer una vegetación de páramo azonal y el desarrollo de otro tipo de vegetación mesotrófica.

Desde el Tardiglacial hasta hoy ha permanecido gente en la Sabana. Primero, fueron cazadores-recolectores con poca influencia sobre la vegetación. Luego se inició una fase de horticultura donde se utilizan pequeñas áreas para este fin, y continuó la recolección y cacería, donde los humedales representaron una fuente importante de comida: peces, almejas, aves. Hace unos 3.500 - 3.000 años comenzó una agricultura intensiva, donde el maíz fue la base fundamental y el hombre ocupó el extenso paisaje.

### 1.1.4. CUARTA FASE: LA AGRICULTURA INDÍGENA

Desde hace unos 3.000 años (1.000 antes de Cristo) comenzó a extenderse en la Sabana cada vez más el cultivo de maíz y a incrementarse la población. De la época temprana conocimos la cultura llamada Herrera, mientras que más tarde se desarrolló la Muisca. Para el caso de los humedales y su transformación, lo importante es que se implementó un sistema muy extenso y refinado de manejo de las aguas superficiales con fines agrícolas. En general, construyeron en muchas partes de la superficie del plano general de la Sabana - temporal o parcialmente encharcados por las lluvias y superficies temporalmente inundadas en el valle de inundación de los ríos y en las "chucas"-, sistemas muy extensos de camellones altos y zanjas profundas. Las zanjas en el plano general atravesaban el suelo oscuro andisólico hasta la arcilla gris impermeable (Figura 1.3)

Figura 1.3. Corte esquemático de un sistema de cultivo de zanjas y camellones practicado por los Muiscas. Parte superior: forma original probable, antes de los Muiscas. Parte inferior: sección de la excavación. La línea roja indica cómo puede haber sido la forma original de los camellones y zanjas. A = Suelo superior oscuro B = Intercalación amarillo-verdoso con cenizas volcánicas. C y D = Complejo de suelos inferior E = Arcillas grises de la Laguna de la Sabana. (Adaptado de Van der Hammen, public.div.).



En los valles del río Bogotá y algunos afluentes (por ejemplo, el valle del río Juan Amarillo) construyeron, además, sistemas de canales (a veces paralelos o en forma de abanico), para manejar el valle de inundación del río. Eso demuestra que estos valles no estaban inundados permanentemente (como es el caso de muchos humedales actuales en pequeños ríos y chucuas (como el Juan Amarillo y muchos más). Teóricamente es posible que existieran en algunas partes bajas de los valles erosivos, lagunitas naturales, pero la sedimentación en el valle del río Bogotá las pudo haber “taponado” gradualmente, pero no se tiene seguridad. Muchos de los humedales con inundación temporal o permanente de poca profundidad, fueron afectados por el sistema de manejo hidráulico y cultivos en la época indígena.

### 1.1.5. QUINTA FASE: DESPUÉS DE LA CONQUISTA

La Conquista trajo grandes cambios, con la introducción de trigo y otros cultivos europeos, así como de ganado. El sistema indígena de cultivo fue abandonado gradualmente y la tendencia fue drenar lo mejor posible los suelos. En los siglos que siguieron, especialmente XIX y XX, desaparecen poco a poco los humedales de tipo de planicie por los avances en el drenaje y sucesivo uso para fines de ganadería (o agricultura). Los del valle de los ríos mayores disminuyeron por rellenos y por la construcción de jarillones en el borde del río, que evitaron las grandes inundaciones, pero siguen existiendo algunos de los más profundos (p. e. meandros cortados).

En los humedales de valles erosivos se presentó un cambio fundamental por la construcción de jarillones transversales en ellos, al final antes de llegar al valle del río, y también en sitios aguas arriba, con el fin de crear reservorios. Debajo del agua desapareció la vegetación original si todavía existía así, como también, el sistema de camellones y zanjas de los cultivos indígenas.

En estos laguitos alargados se pudo establecer en la orilla una vegetación de juncos y otros elementos de la vegetación pantanosa original y comenzó la sedimentación que localmente ha llegado a la colmatación, ayudada por una vegetación demasiado vigorosa gracias al exceso de nutrientes generado por las actividades humanas.

### 1.1.6. TIPOS DE HUMEDALES SEGÚN ORIGEN Y VEGETACIÓN ASOCIADA

De acuerdo con su origen y primera historia se pueden diferenciar tres tipos de humedales:

- Humedales tipo 1: del fondo original de la Sabana mal drenada. Estos desaparecieron casi todos

por drenaje artificial (directo, y/o indirecto por descenso del nivel freático en relación a la explotación de agua subterránea).

- Humedales tipo 2: en el valle de inundación original del río Bogotá y algunos afluentes mayores, se refiere a cursos, brazos o meandros cortados naturalmente (a veces artificialmente) y basines. Están en zonas originalmente de sedimentación.

Se encuentran principalmente en el valle de inundación del río Bogotá (y algunos afluentes mayores). En general, existía contacto con el agua del río cuando su nivel era alto, y hoy en día por medio de zanjas. El agua del río y el suelo reciente de arcilla de inundación, eran y son siempre ricos en nutrientes y la vegetación original era sin duda parecida a la actual, pero probablemente no idéntica: el exceso de nutrientes hace crecer ciertas especies con gran rapidez cubriendo áreas grandes con solo una o unas pocas especies. En los sedimentos del valle del río y/o sus humedales actuales, se encuentran capas de turba (materia orgánica vegetal acumulada sin o con poca arcilla) que indican que se presentaban situaciones de poco contacto con el agua de inundación del río, y se podían desarrollar tipos de vegetación algo menos eutrófica (ver también adelante, donde se discute la “vegetación flotante”) que pueden haber tenido algunas especies hoy en día (casi) desaparecidas.

- Humedales tipo 3: se encuentran en los valles menores que drenan la superficie general de la sabana. Dirigen sus aguas al río Bogotá (o afluentes mayores). Son, originalmente, valles de erosión, algunos tienen sus cabeceras en la misma planicie de la Sabana, otras en los cerros. Localmente se llaman chucuas.

Se localizan en el sistema de valles de drenaje natural de la sabana que llegan todos finalmente al río Bogotá. Estas “chucuas” se encuentran hoy día inundados artificialmente por la construcción de jarillones transversales. Es posible que en las partes donde se llega al valle del río haya existido una inundación natural local, que la erosión taponó por efecto de la sedimentación. La vegetación actual de las “chucuas” es muy parecida al Tipo 1, por lo cual las aguas presentan exceso de ciertos nutrientes (como nitrógeno), entre otros, por la “contaminación” generalizada con aguas negras e industriales y por las actividades ganaderas y agrícolas.

Se puede presentar vegetación flotante que se extiende sobre el agua desde la orilla; el conjunto de raíces y materia orgánica muerta puede volverse bastante gruesa y la vegetación puede comenzar a depender más del agua de lluvias con cierta tendencia a la mesotrofia. Vegetación representativa de este tipo de humedales corresponde a: *Begonia*, *Scutellaria*, *Gratiola*, *Epilobium denticulatum*, *Sibthrorpia repens*, *Ranunculus*, *Calceolaria*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Carex sp.* y *Scirpus rufus*. Entre la vegetación pantanosa, que depende únicamente del agua del humedal y del suelo, se encuentran *Scirpus*, *Typha*, *Polygonum*, *Rumex*, *Bidens*, *Myriophyllum*, *Hydrocotyle*, *Ludwigia*, entre otras. Es probable que las especies del primer grupo fueran más abundantes antes de la fuerte contaminación.

Una anotación de Manuel Ancízar en la “La Peregrinación de Alpha”, según sus observaciones en 1850, indica que había vegetación de páramo con frailejones en la parte plana de la sabana, cerca al Boquerón de Torca “Páramo azonal” en el valle de la quebrada y en el humedal de Torca. Esta observación parece coincidir con la presencia de *Sphagnum* e *Isoetes* establecida en forma palinológica.

Igualmente, parece probable que, especialmente, antes de la interferencia humana se presentase vegetación azonal de páramo, en condiciones medio-pantanosas, en los valles del Tipo 3, por lo menos, localmente. Este hecho parece lógico: después de la situación durante el máximo del último glacial, cuando la vegetación de toda la sabana fue páramo, se mantuvo la vegetación de páramo azonal definida por la situación turbosa-pantanosa en los valles y áreas mal drenadas mientras en las partes mejor drenadas se establecía bosque.

### 1.1.7. PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LOS HUMEDALES

En el mapa de suelos de la sabana (ver Gaviria, en Van de Hammen, 1999; y Van der Hammen, en prensa), se puede ver que en el área de Funza-Mosquera-Madrid, hay suelos hidromórficos en los interfluvios de las chucuas y no hidromórficos (mejor drenados) a lo largo de ellos. La conclusión es que grandes áreas pantanosas se extendían en los interfluvios mientras a lo largo (en la ronda) de las chucuas debe haber existido bosque. (Figura 1.6)

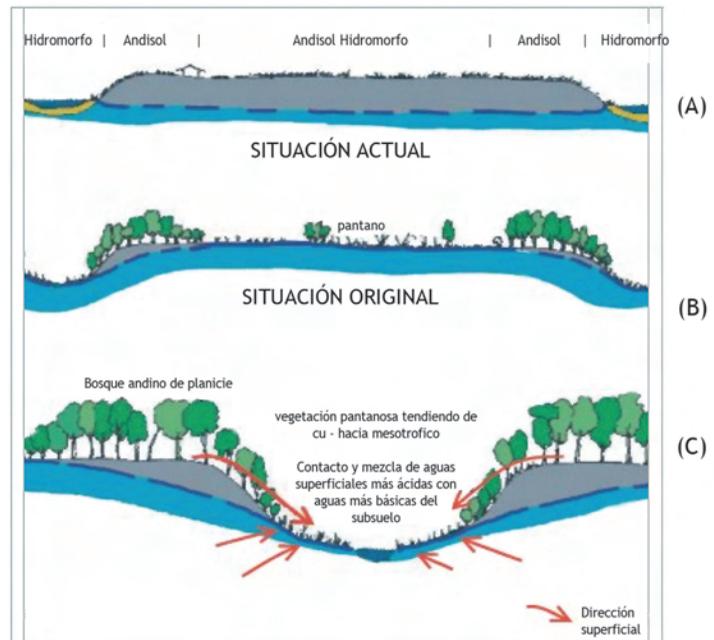


Figura 1.4. Corte esquemático por dos "chucuas" (humedales alargados en valles) y su interfluvio (áreas entre valles de drenaje natural). Situación actual (A) parte superior y original reconstruida (B) parte media. Parte inferior (C) un detalle de la situación original reconstruida mostrando cómo debe haber sido el movimiento del agua del subsuelo y la superficie. (Adaptado de Van der Hammen, public. div.).

El nivel freático bajó, de forma considerable, causando la desaparición de los humedales de los interfluvios; la inundación de los valles (chucuas) ocasionada, principalmente, por el hombre, cambió la condición más mesotrófica (probablemente con *Sphagnum*) a la de un humedal eutrófico. (Figura 1.4)

La situación original de los humedales de Tipo 3 debe haber sido la de vegetación abierta tendiendo a mesotrofia y localmente con páramo azonal, protegida naturalmente por una zona de bosque con suelo mejor drenado. Lo curioso es que, al parecer, mientras desaparecieron los humedales en la parte plana mal drenada de la Sabana (Tipo 1) se crearon nuevos humedales eutróficos por la inundación mayormente artificial de la chucuas (valles erosivos en la parte plana, Tipo 3).

En las zonas donde se juntan los valles erosivos (Tipo 3) con el valle del río Bogotá se presentan transiciones, a veces muy amplias, entre las situaciones de Tipo 2 y Tipo 3. Otra situación de transición entre los Tipos 2 y 3 se puede presentar en estos vallecitos que tienen su origen como quebradas en los cerros y que pueden formar una especie de valle de inundación poco desarrollado.

Los datos disponibles sobre la historia de los humedales dan unas primeras indicaciones interesantes, pero es evidente que requerimos mucha más investigación geológica, pedológica y palinológica para poder ampliar y verificar estos datos si queremos que sirvan para una reconstrucción (y luego una restauración) más detallada de esos ecosistemas.

## 1.1.8. CONSECUENCIAS DE ESTOS DATOS PARA LA RESTAURACIÓN

Los datos sobre el pasado de los humedales nos dejan con la tarea de tomar decisiones acerca de su restauración, entendiendo esta como la rehabilitación o la recuperación. Como en toda restauración de arte, edificios antiguos o reservas naturales, es necesario tomar decisiones difíciles: ¿cuál va a ser la época para restaurar? La posibilidad de decidir es limitada, infortunadamente, por la gran reducción del hábitat pantanoso acuático para las aves.

Parte del humedal tipo 2 sigue existiendo, aunque muy reducido, el tipo 1 desapareció prácticamente, pero se creó artificialmente un medio parecido en el tipo 3. Es decir, aunque quisiéramos reconstruir la situación original del tipo 3, no podemos cambiar la situación actual ya que no hay suficiente superficie de este medio (semi-acuático) para garantizar la sobrevivencia de las poblaciones de ciertas aves. Lo que sí parece posible es comenzar ensayos de restauración de la situación original del tipo 3, localmente, aguas arriba de ellos.

Todo esto nos indica que tenemos que ser muy cuidadosos en cuanto a las decisiones en cada caso, no dragar, por ejemplo, sino después de efectuado un amplio estudio palinológico y químico (y datación) de los sedimentos. De todos modos hay que respetar la geomorfología original y nunca excavar antes de conocer bien la geoforma original (y no endurecer bordes). También habrá que respetar los humedales en cuanto a la arqueología.

En muchos se encuentra visible, localmente, el sistema de camellones y zanjas de los Muiscas, pero es probable que en otras partes estén presentes pero invisibles debajo del sedimento posterior. Dragar sin saber si existen o no, puede resultar en la destrucción de ellos (como posiblemente ha pasado en la parte baja del humedal Juan Amarillo, cuando se hizo el lago actual).

La conclusión es que no se debe hacer ninguna interferencia física en un humedal mientras no se hayan realizado estudios geomorfológicos, geológicos, de suelos, palinológicos, sedimentológicos y de la vegetación y fauna actual, preferiblemente por medio de la conformación de equipos multidisciplinarios. Las decisiones deberán ser tomadas por un grupo de científicos con conocimiento de la historia y la actualidad, así como de las necesidades de conservación y protección con el concurso de los actores sociales y teniendo en cuenta las posibilidades económicas locales.

## 1.2. ASPECTOS CONCEPTUALES

### 1.2.1. LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La necesidad de controlar la degradación de los humedales, además, del reconocimiento de los beneficios asociados a su rehabilitación o recuperación ecológica, ha dado lugar a la puesta en marcha de numerosos proyectos en todo el mundo (Convención Ramsar 2002).

En restauración ecológica de humedales son pocas las certezas (si las hay) y muchas las incertidumbres. Autores como Zedler (1994) aseguran que se tiene el conocimiento para restaurar humedales en áreas que no han sido demasiado dañadas y donde la biodiversidad regional no ha sido muy disminuida, tras restaurar la hidrología, transplantar vegetación nativa, sería esperar por las poblaciones de animales para expandir al interior los nuevos hábitat.

Al evaluar el éxito de los procesos de restauración se evidencia que el problema de los humedales es más complejo de lo que aparenta y la solución no refleja esa complejidad más allá del discurso propuesto en la meta (ver Mitsch y Wilson 1996; Mitsch et al. 1998). Esto es una realidad actual al no comprender aún gran parte de los procesos que en ellos se desarrollan. Roni et al. (2002) exponen que pese a los numerosos proyectos de restauración en sistemas acuáticos que se conducen anualmente en el mundo, proyectos exitosos (basados sobre una restringida evaluación de datos) son limitados o desconocidos.

Los proyectos de restauración y actividades relacionadas tales como la rehabilitación y la recuperación (reclamation) en humedales contemplan metas como restituir sus funciones perdidas, entre ellas: la retención de agua lluvia, el ciclado de nutrientes, la recarga de aguas subterráneas y el hábitat de vida silvestre (p. e. Keedy 1999; Streever 1999; Lindig-Cisneros y Zedler 2005) o el reemplazo de las especies invasoras (p. e. Zedler y Kercher 2004) que, en general, evidencian implícitamente que la restauración resulta de acoplar organismos y su medioambiente. Autores como Beschta et al. (1994) y Jackson et al. (1995) coinciden en afirmar que una aproximación a la restauración solamente desde una especie o proceso particular probablemente fallaría; lo que es consecuente con estudios que concluyen la existencia de diversas restricciones bióticas y abióticas que pueden limitar la restauración (Seabloom y van der Valk 2003, Keddy 1999).

Existen estudios que describen una aproximación general a la restauración de estos ecosistemas (e. j. Garbisch 1986; Marble 1990; Hammer 1992; Maynard et al. 1992) y que dejan prever elementos comunes, entre ellos, la selección de material vegetal, los análisis hidrológicos, la calidad del agua, el manejo a largo plazo.

Los aspectos a considerar para abordar un proyecto ya sea este de restauración ecológica, rehabilitación o recuperación depende de las metas, de sus alcances, recursos y el escenario social, económico y de desarrollo local y distrital. En un contexto científico autores como Nygaard (2004) enfocan la necesidad de comprender el impacto de las principales condiciones ambientales sobre el ensamble y la riqueza de las especies; sin embargo, es tan grande el proceso en una escala espacial que incluso diversos autores (Dale et al. 2000; Gersib 2001; National Research Council 2001; Roni et al. 2002) coinciden en afirmar que para proteger o restaurar ecosistemas como los humedales, se deben considerar los procesos que ocurren por fuera, dado que los mismos actúan como factores que controlan sus características físicas, químicas y biológicas.

Casagrande (1997) considera que la restauración de humedales en áreas urbanas es la de los hábitat humanos y, que tanto, en los procesos como en las metas y la evaluación del éxito de la restauración, es necesario incorporar el componente humano. ¿A que se refiere el autor? A que la restauración de humedales urbanos produce beneficios sociales importantes adicionales al mejoramiento biofísico que tradicionalmente se incluye en la evaluación del éxito que se pueda obtener.

La restauración de humedales es arte y ciencia en toda su expresión. Requiere de una cuota de creatividad que permita, no solo formular una propuesta consecuente con todas las variables que juegan en el camino y su apreciable permeabilidad en la ética y la construcción participativa, sino con la forma de evaluar su efectividad, de evitar la pérdida de información en la evolución del proceso y de establecer buenos y bien ejecutados diseños que puedan ser utilizados como modelos en el mediano plazo, pues hace parte de nuestro aprender-haciendo.

La Sociedad de la Ecología de la Restauración (SER 2004)<sup>3</sup> establece la diferencia entre rehabilitar y restaurar en sus metas y estrategias; la primera hace énfasis en la reparación de procesos del ecosistema, productividad y servicios, entre tanto, las metas de restauración incluyen además el restablecimiento de la integridad biótica preexistente en términos de composición de especies y estructura de la comunidad. En consecuencia, se deben precisar tres términos clave que hacen parte de la ecología de la restauración y actividades relacionadas que corresponden a:

- RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: aquellos procesos que se orientan a la intervención de las dinámicas sucesionales y su aplicación se basa en tomar como referencia un ecosistema **predisturbio** para **reestablecer la estructura, el funcionamiento, la diversidad y las dinámicas de un ecosistema específico** y lograr que este sea capaz de autosostenerse. En el sentido estricto del término es la reconstrucción total de las condiciones previas a un disturbio incluyendo las condiciones físicas, químicas y biológicas, se pretende regresar a las condiciones originales naturales de un ecosistema.

<sup>3</sup> Para mayor información puede consultar la página web de la Sociedad de la Ecología de la Restauración (SER): [www.ser.org](http://www.ser.org)

- REHABILITACIÓN ECOLÓGICA: aplica a los proyectos en los cuales la meta de intervención busca recuperar elementos estructurales o funcionales dentro de un ecosistema, sin que necesariamente se intente completar una restauración ecológica a una condición específica previa de un ecosistema predisturbio.

- RECUPERACIÓN (*RECLAMATION*): aborda el desarrollo de trabajos en sitios severamente degradados (p. e. tierras afectadas por minería a cielo abierto, construcción a gran escala, etc.) e implica, la mayoría de las veces, *un cambio en el uso original del sitio afectado*; la Sociedad de Ecología de la Restauración (SER 2004) incluye entre sus principales objetivos la estabilización de terrenos, la seguridad pública y el mejoramiento estético.

En razón de las fuertes alteraciones ecológicas de las cuales han sido objeto los humedales urbanos del Distrito Capital, como se podrá analizar en el capítulo 2 del presente documento, se recomienda que los objetivos y metas de los programas y proyectos que se planteen en estos ecosistemas sean orientados, ya sea a su recuperación o a su rehabilitación ecológica, por sus condiciones tanto físicas como bióticas.

### 1.2.2. TEORÍA DE LA INVASIÓN

Otro modelo teórico con fuerte respaldo de datos experimentales en muchos humedales es la llamada “teoría de la invasión” que trata de explicar los mecanismos de implantación, reemplazamiento y persistencia de las diferentes poblaciones de plantas en un humedal. La comprensión de estos mecanismos es un factor fundamental en la rehabilitación o recuperación de la vegetación de los humedales. Igualmente, pueden existir limitaciones específicas en cuanto a la calidad y cantidad de especies disponibles.

La regeneración es un proceso natural que tiene ventajas relativas en el momento de implementarse como alternativa frente a procesos activos de siembra. Sus ventajas: a) los menores costos y b) la mayor disponibilidad de desarrollar patrones espaciales y estructuras genéticas poblacionales más cercanas a las naturales. Los factores clave para entender en este proceso son la capacidad de colonizar sitios libres y la posibilidad de dispersión a través del ecosistema de humedal.

En la medida que haya una interconexión local y regional entre los humedales por medio de inundaciones generalizadas periódicas o por medio de dispersores como el viento o animales será posible la propagación y establecimiento de las especies, de lo contrario la vegetación resultante en condiciones de aislamiento se verá muy empobrecida.

VENTANA DE INVASIÓN Y REFUGIOS: un elemento importante para comprender los procesos de invasión de las especies de vegetación acuática y semiacuática de un humedal es el concepto de los refugios (*safe sites*); el refugio es definido como un sitio a escala local que presenta las siguientes características:

- Presencia de condiciones favorables para la germinación de semillas, al permitir que estas escapen de la depredación y puedan sobrepasar la etapa de dormancia.
- Presencia de las señales ambientales que estimulan la salida de dormancia de las semillas.
- Existencia de condiciones que reducen riesgos específicos para especies tales como: depredadores, competidores, patógenos en la etapa de preemergencia.

El papel que juegan los refugios (*safe-sites*) en los procesos de invasión como mecanismo de constitución de la vegetación acuática y semiacuática es la teoría de la “ventana de invasión”. Esta describe las diferentes clases de refugios basándose en la existencia de barreras y en la selectividad de las diferentes especies para la invasión de un sitio determinado. Las barreras pueden ser biológicas (ocupación previa del sitio por otra especie) o físicas; también, pueden ser generales (iguales para todas las especies) o selectivas (algunas especies pueden sobrepasarla y otras no).

La remoción de una planta en un sitio abre una ventana de invasión, que permite la ocupación por otra especie y la generación de un refugio temporal para esta última. Ejemplo de ello son las especies invasoras exóticas que pueden establecerse, debido a la ruptura de barreras geográficas por introducciones accidentales o deliberadas, generando ventanas estables a través de las cuales mantienen y aumentan

sus poblaciones; por lo cual, deben ser objeto de especial evaluación y seguimiento en los humedales en proceso de recuperación o rehabilitación.

### 1.2.3. DISEÑO NATURAL Y ACTIVO

La implementación práctica de la recuperación o rehabilitación ecológica de la vegetación acuática y semiacuática puede tener en cuenta dos enfoques o diseños: el natural (regeneración) y el activo (dirigido por el hombre mediante acciones de manejo). Para el diseño natural lo más importante es entender las historias de vida de las especies involucradas, la naturaleza de los mecanismos de dispersión, germinación y los requerimientos ambientales para el establecimiento de las plántulas, así como su persistencia hasta la fase reproductiva.

El diseño natural plantea el mantener la fluctuación y niveles del agua necesarios para cada biotipo y que la flora se regenere naturalmente a partir del banco de semillas o plántulas. Es un enfoque ecosistémico basado en la teoría termodinámica de los ecosistemas, que plantea la capacidad de autoorganización, como el factor principal en el proceso de sucesión. Sin embargo, los humedales por sus características funcionales, no siempre permiten que el diseño natural sea suficiente por lo que, generalmente, debe acudir al diseño dirigido a través de procesos de rehabilitación o recuperación.

La teoría del diseño activo establece que los sitios a ser intervenidos pueden tener depurados los bancos de semillas y/o presentar severas limitaciones de dispersión, por lo tanto la reintroducción de la vegetación requiere sembrar plantas o semillas; se trata de un enfoque especie-específico.

El éxito del proceso se mide a través de la composición de la vegetación y de la habilidad del ecosistema para restablecer la vegetación después de un disturbio, como indicador de la eficiente funcionalidad del humedal. Esto podría ser posible siempre y cuando se mantenga el pulso de inundación para que los bancos de semillas de corta vida puedan revegetalizar, espontáneamente, las áreas que la han perdido (diseño natural). El proceso activo del diseño dirigido cumplirá sus objetivos solo si se han identificado correctamente los factores tensionantes y limitantes que han generado la degradación del ecosistema y si las acciones propuestas pueden, de manera efectiva, revertir sus efectos.

### 1.2.4. EL TAMIZ AMBIENTAL

Es un modelo explicativo de la sucesión de la vegetación en los humedales, basado en el concepto de sucesión Gleasoniana, donde la presencia y dominancia de una especie depende de sus atributos de historia de vida y a su mayor o menor adaptación a las condiciones físicas del sitio. Respecto a las historias de vida se han determinado unas tipologías aplicables para las especies de vegetación acuática y semiacuática de los humedales:

- A: anual.
- V: perenne vegetativa.
- D: dependiente de la dispersión, semillas de vida corta.
- S: especies del banco de semillas, semillas de vida larga.
- Tipo I: especies que se instalan solo en condiciones de agua circulante.
- Tipo II: especies que solo se instalan en condiciones de agua estancada.

Frente a las variaciones en los regímenes de humedad e inundación, así como de la expansión y retracción de las áreas de espejo de agua en las zonas litoral y profunda de un humedal, cada tipo de especie puede encontrar un hábitat y un intervalo de tiempo propicios para invadir exitosamente un área (Figura 1.5).



Figura 1.5. Pulsos estacionales en la productividad y nivel de inundación en el humedal de Tibanica. Las macrófitas flotantes cubren el espejo de agua al final del verano o estación seca. (izquierda, foto: Thomas McNish). Pulso de aguas altas durante la estación de lluvias y máxima inundación (derecha, David Rivera), el espejo de agua está libre.

Esto explica en buena medida el carácter azonal y poco predecible del desarrollo de las comunidades, lo cual se manifiesta en el paisaje vegetal como patrones en mosaicos irregulares superpuestos en las zonas litorales.

### 1.3. LAS ETAPAS EN UN PROYECTO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA<sup>4</sup>

A continuación se describe brevemente la propuesta de procedimiento para orientar un proyecto de restauración ecológica, rehabilitación o recuperación indistinto del tipo de ecosistema (acuático o terrestre), el cual comprende las siguientes etapas:

a) Planeación conceptual: identifica el área del proyecto, las metas específicas de restauración y provee la información de fondo relevante. Esta etapa se realiza previa a la toma de cualquier decisión de manera que brinde criterios al respecto. Esta etapa provee la información preliminar del área con reconocimientos y premuestras, dado que las caracterizaciones propiamente dichas se realizan más adelante.

b) Actividades preliminares: son las actividades de las cuales depende la planeación del proyecto y sobre las cuales se fundamenta un diseño bien concebido. Comprende desde la definición del equipo de profesionales, caracterización biótica del área del proyecto hasta la definición de metas, objetivo y presupuesto.

c) Planeación: describe las actividades que serán cumplidas para realizar el proyecto. Entre ellas cabe mencionar: la descripción de las intervenciones a ejecutar para el cumplimiento de los objetivos, preparación del programa de evaluación y seguimiento para medir el alcance de cada objetivo (estándar de cumplimiento del ecosistema recuperado que indica o demuestra que un objetivo ha sido alcanzado), realizar una lista de las actividades necesarias para alcanzar cada objetivo, entre otros, aspectos.

d) Ejecución: delimitación física de las áreas de trabajo, instalación de accesorios de evaluación y seguimiento permanentes (transectos lineales, estaciones fotográficas, marcas y otras locaciones se van a usar periódicamente para evaluar y seguir el proceso) y la implementación de las actividades previstas en la planeación del proyecto.

e) Actividades posteriores a la ejecución: el cumplimiento de los objetivos depende tanto del cuidado posterior como del dado durante la realización de las actividades de ejecución, entre ellas: proteger el área

<sup>4</sup> Adaptado de la Sociedad de Ecología de la Restauración (SER, 2004), sintetizado en una serie de pasos por Clewel et al. (2005). Para consulta ver [www.ser.org](http://www.ser.org).

del proyecto contra vándalos y herbivoría, desarrollar el mantenimiento posterior a la ejecución, reconocer el área del proyecto regularmente para identificar necesidades y correcciones a mediano plazo. Se debe inspeccionar el área del proyecto con frecuencia, particularmente durante el primer año posterior a la intervención.

f) Evaluación y publicidad: Las evaluaciones son conducidas para asegurar la satisfacción de los objetivos y metas del proyecto. Así mismo, el proyecto debe ser publicado para uso del público y técnicos.

En este procedimiento es clave la implementación del programa de evaluación y seguimiento al proceso, como también, efectuar el manejo adaptable el cual se mencionará más adelante y que corresponde a una estrategia de restauración altamente recomendada, dado el efecto potencial de unas fases del proyecto sobre otras.

## 1.4. PROCESOS HIDROLÓGICOS

Los procesos hidrológicos están estrechamente relacionados entre sí y a su vez determinan los ecológicos que, finalmente, seleccionan los habitantes naturales de un humedal. De hecho, se ha llegado a la conclusión de que la hidrología constituye el más importante factor organizador a nivel ecológico en el ecosistema del humedal (Mitsch y Gosslink 1993), tanto a nivel estructural como funcional.

Cada categoría de hidroperíodo en los humedales define características en el hábitat que establecen el desarrollo de biotipos de vegetación determinados. El desarrollo, estructura y distribución espacio temporal de la vegetación acuática y semiacuática también ejercen control sobre la hidrología del humedal, a través de diferentes interacciones (Figura 1.6):

- La acumulación de turba orgánica.
- El relleno progresivo (colmatación) que atrapa los sedimentos transportados por corrientes de agua.
- La inmovilización de nutrientes.
- El sombrero generado sobre el espejo de agua.
- La transpiración, especialmente, de las plantas flotantes como el buchón (*Eichhornia crassipes*).

En los humedales la hidrología está determinada por la relación de flujos de entrada y salida de agua, tanto a nivel superficial como en el suelo, modificados por la capacidad de almacenamiento. Las variaciones en el régimen hidrológico (comportamiento espacial y temporal del flujo), afectan el nivel del agua y la extensión del área inundada; a su vez, estas características en asociación con las cargas de materiales que fluyen a través del humedal, crean las condiciones fisicoquímicas distintivas de este ecosistema.

En general, la variación temporal de caudales, niveles y grado de saturación de humedad del suelo (hidroperíodo) permite diferenciar varias categorías de humedales, teniendo en cuenta la duración y la frecuencia de la inundación (Tabla 1.1).

Figura 1.6. Interacciones en el ecosistema de humedal.

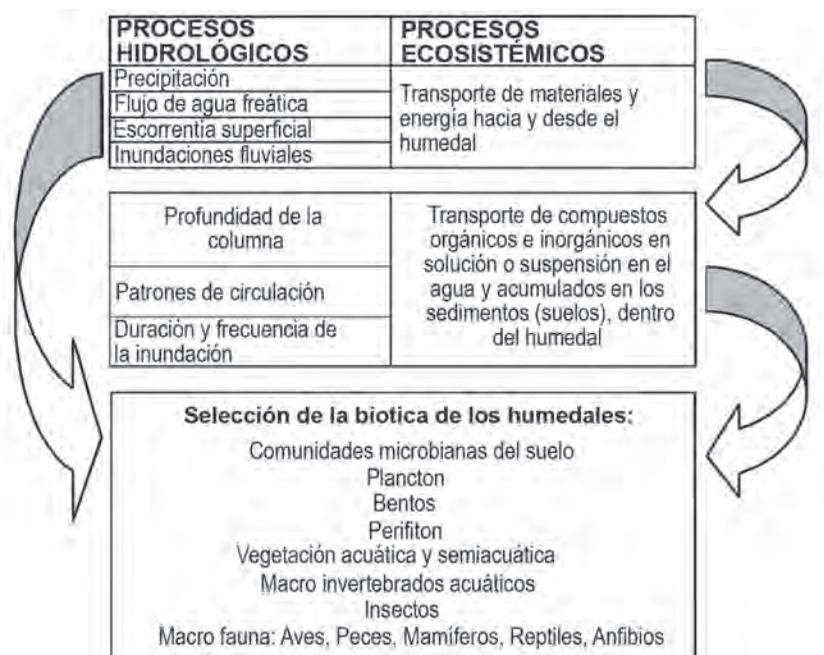


Tabla 1.1. Categorías del hidroperíodo en humedales

<b>Permanentes</b>	Se mantienen inundados todo el año y tan solo se desecan en temporadas de sequía prolongadas.
<b>Semipermanentes</b>	Se secan por un corto período del año.
<b>Estacionales</b>	Inundados por largos períodos, pero hay una estación de sequía definida.
<b>Saturados</b>	El suelo está saturado por largos periodos pero el agua casi nunca aflora en la superficie.
<b>Temporalmente inundados</b>	La inundación es de corta duración, el nivel freático del agua es usualmente profunda.
<b>Inundación intermitente</b>	Suelos secos casi permanentemente, inundaciones cortas y sin ser periódicas.

### 1.4.1. MODALIDAD DE HUMEDALES

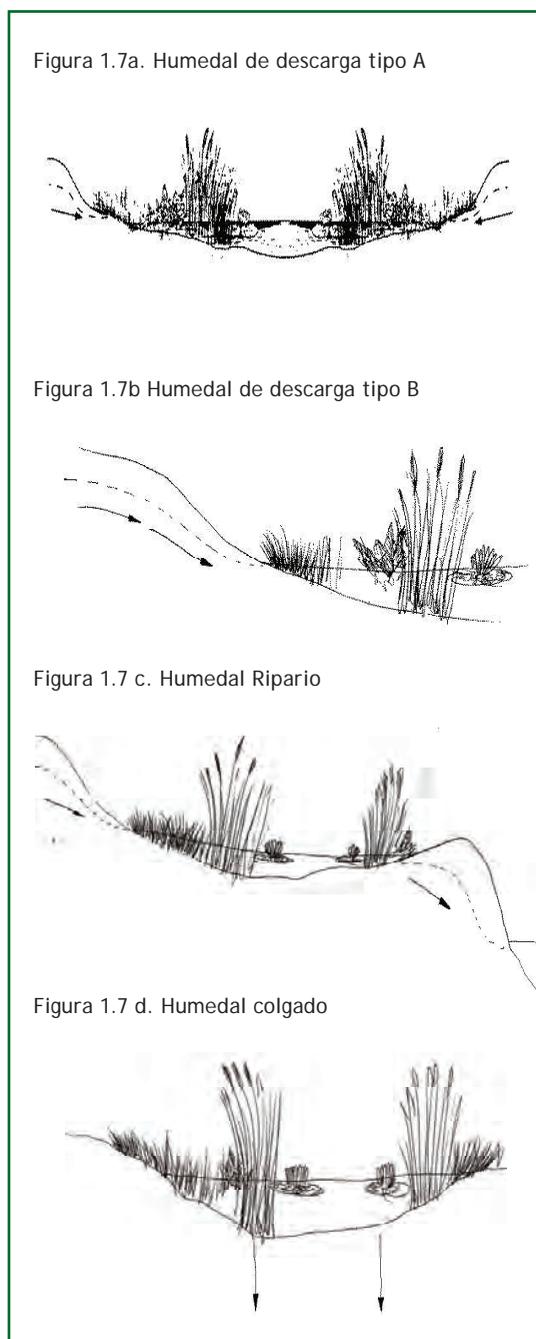
El flujo interno de agua en un humedal tiene importancia para definir la capacidad de retención de sustancias contaminantes o su eventual infiltración hacia capas más profundas. Además, establece el papel de los humedales como recursos hídricos locales o regionales.

Según la relación entre los niveles de agua freática, superficial del humedal y de las corrientes asociadas, pueden presentarse varias modalidades: humedales de descarga, humedal ripario o de plano aluvial, humedal colgado o de encharcamiento superficial.

- Humedales de descarga: se presentan cuando el nivel freático está por encima del nivel de agua del humedal (Figura 1.7 a-b). Pueden ser:
  - Tipo A: Se presentan en terrenos plano cóncavos, mal drenados donde el agua del suelo se descarga en el cuerpo del humedal sin una salida neta.
  - Tipo B: Presentes en terrenos con pendientes mayores. El agua subterránea aflora en el cuerpo del humedal que se forma en la base de la pendiente, el cual a su vez descarga aguas abajo en una corriente superficial.

- Humedal ripario o de plano aluvial: es alimentado por agua freática, está cercano a corrientes de agua que pueden inundarlos periódicamente por desbordamiento. Funciona como de carga y descarga del medio subterráneo. (Figura 1.7.c)
- Humedal Colgado o de encharcamiento superficial: se presenta cuando el cuerpo de agua del humedal se encuentra muy por encima del nivel freático y solo pierde agua por evaporación o por infiltración. (Figura 1.7 d)

## MODALIDAD DE HUMEDALES



Fuente: modificado a partir de Mitsch y Gosselink (1993). ( - - ) nivel freático, ( ) Dirección del flujo. →

## 1.4.2. PERFIL LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL

En un sentido estricto del término se entiende como zonificación de un humedal a la identificación de áreas que se pueden diferenciar entre sí por poseer características (condiciones del suelo, calidad del agua, carga orgánica, grupos de macroinvertebrados, tipo de vegetación, etc.), que varían en un gradiente. Se pueden presentar dos tipos de gradientes:

- **Perfil longitudinal:** determinado por el flujo hídrico del cuerpo de agua del humedal, producto de la magnitud y duración de la inundación. Los componentes limnológicos en los humedales (vegetación acuática y semiacuática, plancton, bentos, perifiton y variables fisicoquímicas), varían de acuerdo al flujo hídrico, presentándose dos condiciones bien diferenciadas:

- Existe un flujo de agua y, por ende, los elementos disueltos, suspendidos y los contaminantes son transportados por dispersión y dilución y distribuidos de acuerdo con los patrones de sedimentación; esto genera gradientes longitudinales de concentración que pueden contribuir a una organización zonal de la biota.

- No existe flujo de agua, generándose áreas de mayor concentración de los diferentes elementos, donde el componente biológico será selectivo teniendo en cuenta su grado de adaptación a esas condiciones locales.

De acuerdo con las consideraciones anteriores los humedales se agrupan según el sentido direccional del flujo hídrico, el volumen de agua que movilizan y almacenan y la afectación del flujo por infraestructuras (vías, urbanización, manejo hidráulico) para establecer los patrones de zonificación en cada grupo, así:

**Humedales tipo A:** con estructura de flujo hídrico asociado a la red hídrica original y manejo de altos volúmenes de agua provenientes de grandes cuencas, en orden descendente. Dichos humedales corresponden a: Juan Amarillo, Jaboque, Torca, Guaymaral, La Conejera, Córdoba. En estos humedales se pueden presentar tres zonas:

**Zona alta** en inmediaciones del afluente principal, constituidos por aguas lluvias y residuales mezcladas, donde hay mayor carga orgánica, menor volumen de agua y, por lo tanto, mayor concentración.

**Zona media** donde el ensanchamiento de la sección transversal del humedal, disminuye la velocidad del agua, aumenta el área vegetada y, por consiguiente, la capacidad de retención de nutrientes y contaminantes, disminuyendo la concentración de carga orgánica.

**Zona baja** donde la calidad del agua puede mejorar con respecto a las aguas que entran al humedal.

Este patrón básico de zonación longitudinal se encuentra fuertemente modificado por las intervenciones antrópicas que han ido alterando la estructura física del humedal y, por ende, sus componentes limnológicos. Esta situación se presenta en mayor o menor grado en todos los humedales del Distrito, pero de manera más aguda en el humedal de Córdoba.

En términos generales, se suele plantear la existencia de macrófitas asociadas en algún grado con aguas de mayor carga orgánica y, en ese sentido, cabría esperar una organización zonal de la vegetación; sin embargo, la heterogeneidad espacial de la mayor parte de los humedales distorsiona ampliamente este patrón teórico, dando como resultado mosaicos de vegetación, que a su vez pueden cambiar de manera muy fuerte de una época a otra del ciclo de caudales y niveles de llenado de cada humedal.

**Humedales tipo B:** cuya estructura de flujo hídrico está limitado por infraestructuras viales, especialmente, en época seca, tienen capacidad de almacenamiento medio a bajo y moderada afectación por urbanización. Corresponden a los de El Burro y Capellanía.

En estos humedales el patrón de zonación está modificado básicamente por la fragmentación de áreas que se desecan en forma parcial, en especial en la época seca, lo cual genera parches de vegetación sin estructura muy definida o predecible. En las situaciones de creciente por eventos de lluvia torrencial, se generan disturbios por arrastre de materiales y vegetación que tampoco permiten una zonación permanente.

**Humedales tipo C:** con estructura de flujo hídrico limitado a una red de drenaje de aguas lluvias y servidas muy precaria, alta presión urbanística y manejo de muy bajos volúmenes de agua. Corresponden a los de Techo y Vaca (sector pequeño). La fragmentación, la insuficiencia de la red hídrica y la presión urbana extrema generan una estructura de mosaico muy irregular que reemplaza todo tipo de estructura zonal.

**Humedales tipo D:** humedales sin estructura de flujo hídrico, que funcionan como cuerpos de agua aislados, generados por el desarrollo de urbanizaciones en todo su alrededor y el sellamiento de canales de entrada o salida. O debido a la creación de jarillones y compuertas que no permiten el flujo de agua. Ellos son: Santa María del Lago, La Vaca (Sector Grande), Tibanica y Meandro del Say.

En estos casos las zonas no se desarrollan en un sentido longitudinal sino en el sentido del perfil litoral hacia aguas profundas, incluyendo áreas estables de espejo de agua y en el caso del Meandro, esta zonación no es evidente por las condiciones morfológicas particulares.

En conclusión, en la extensión del área total de un humedal, el factor flujo del agua podría condicionar la existencia de zonación en el grupo A, si las fuerzas de afectación no modificaran dicho patrón a una estructura de mosaico. En el caso de los demás grupos (B, C y D) la fragmentación promueve aún más la formación de parches.

- **Perfil Transversal:** otro factor que puede producir una zonación desde el límite entre la ronda y la franja litoral hacia el interior de los diferentes humedales, es el sentido direccional de la magnitud y duración de la inundación, generando patrones de zonación de acuerdo con el perfil microtopográfico local.

En este caso, una zonación transversal bien estructurada, comprendería franjas de suelos húmedos con especies higrófitas, suelos saturados de agua con especies helófitas, columna de agua somera con emergentes enraizadas y en la zona frente al espejo de agua vegetación flotante y sumergida. Esta sería la estructura de vegetación que se esperaría tener en cualquier humedal, si se mantiene la hidrología natural con las fluctuaciones estacionales de caudales y niveles, determinadas por el régimen pluviométrico.

En muchos casos esta zonación transversal no es evidente, debido a los intensivos procesos de relleno llevados a cabo en la totalidad de los humedales, destruyendo el perfil y el gradiente de ambientes acuáticos y semiacuáticos. Esta degradación influye de manera muy determinante en el grado de expansión lateral del área inundada permanente y estacional, restringiendo en muchos casos, el espacio físico para el desarrollo de los diferentes biotipos y micros hábitat asociados.

En la bibliografía revisada, sólo el humedal Jaboque posee información de vegetación, proveniente de 104 puntos de muestreo, donde se identificaron trece comunidades fitosociológicas, con la cual se desarrolló una propuesta de zonificación. Sin embargo, la distribución espacial encontrada muestra que el humedal Jaboque presenta una estructura de mosaico y no un patrón zonal, lo cual está reforzado por la suficiencia de la cantidad y distribución de los puntos de muestreo.

Para el mismo humedal, los datos de zooplancton y algunas variables físico-químicas fueron medidas en varios puntos, pero no fueron suficientes para identificar un patrón espacial. Sin embargo, se pudo establecer una correlación entre ellos, por lo que se podría esperar que estas variables presentarán un patrón espacial similar. La tendencia general de los humedales de Bogotá es presentar una distribución de vegetación con patrón de mosaicos, lo cual contribuye a la diversidad de hábitat para aves y otros grupos faunísticos. Por lo tanto, las actividades para el aumento y mantenimiento de la riqueza y diversidad de vegetación estarán encaminadas a promover y mantener este patrón.

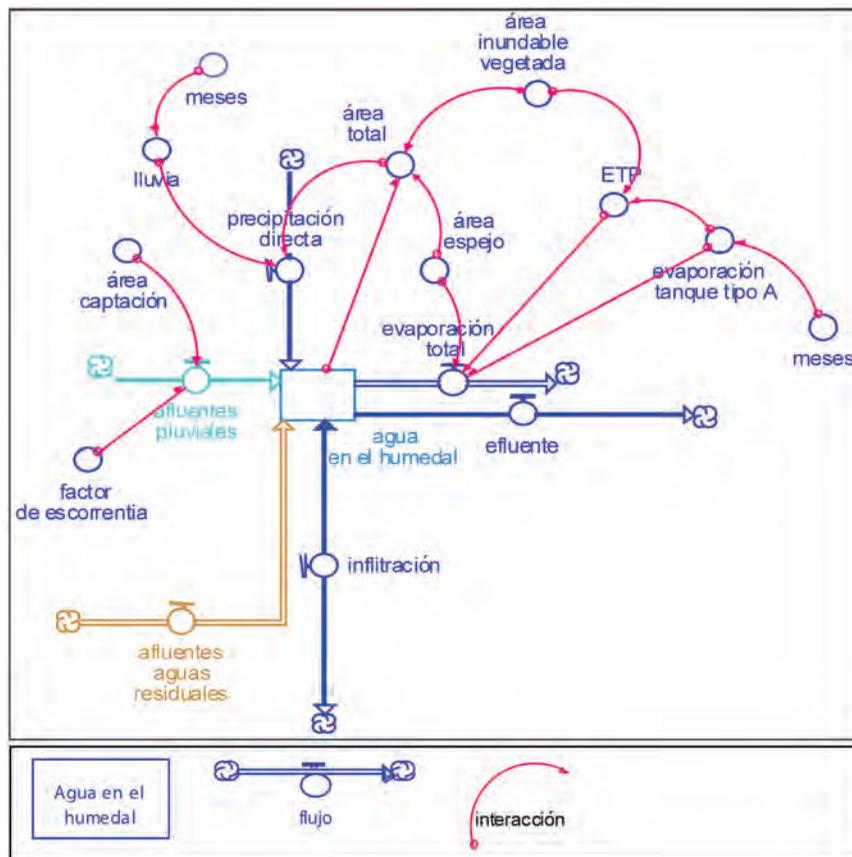
### 1.4.3. DINÁMICA HÍDRICA DEL HUMEDAL

En los humedales urbanos cada afluyente pluvial que pueda tener tiene un área de captación que corresponde al área cubierta por la red de alcantarillado de aguas lluvias, cuyo volumen de agua transportado está afectado por un factor de escorrentía, relacionado directamente con la pendiente de la zona drenada y por el tipo de superficie que recorra (asfaltado, zonas verdes, etc.). De tal manera que entre mayor es la pendiente, el drenaje es más rápido y llega un mayor volumen de agua al humedal por unidad de tiempo.

La hidrología y la hidrodinámica constituyen factores de gran importancia en el control de los diferentes procesos ecológicos del humedal. En el ambiente urbano los humedales cumplen funciones de regulación hídrica para el control de inundaciones de áreas habitadas lo que implica modificaciones en los patrones morfológicos de su cuerpo de agua y profundidad (vaso del humedal) y del sistema de afluentes (aguas que ingresan) que los alimentan y de efluentes (aguas de salida).

Las relaciones entre los diferentes flujos hídricos en un humedal se representan mediante un modelo gráfico (Figura 1.8). La variable fundamental es la cantidad total de agua alojada en el humedal, que se define por el balance transitorio entre los flujos de entrada (afluentes pluviales, afluentes de aguas residuales y precipitación directa) y flujos de salida (evaporación directa, efluentes e infiltración). Cada uno de los flujos mencionados anteriormente presenta un comportamiento que se desarrolla según algunos factores determinados: 1) flujos de entrada, 2) flujos de salida y 3) flujos bidireccionales.

Figura 1.8. Diagrama generalizado de flujos hídricos en un humedal.



- **Flujos de entrada**

- **Afluentes de Aguas Residuales:** aunque la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá viene ejecutando obras que permitan separar las aguas lluvias de las aguas residuales, para que estas últimas no contaminen los humedales, aún existen conexiones ilegales y, en otros casos, redes mixtas que hacen ineludible tomar en cuenta el aporte de este tipo de aguas. De hecho algunos humedales del Distrito dependen casi que exclusivamente de las aguas residuales.
- **Precipitación Directa:** se refiere al agua que ingresa por lluvia sobre el área del humedal, se obtiene a partir de los datos pluviométricos multiplicados por el área del vaso del humedal.

- **Flujos de salida.**

- **Evaporación Directa:** a partir de la superficie del espejo de agua se desprende vapor, según el régimen climático. Este flujo se determina por la medición con el tanque de evaporación de una estación climática multiplicada por el área del espejo de agua libre del humedal.
- **Evapotranspiración:** se refiere al proceso de salida de agua condicionada al tipo de cobertura del terreno, la humedad del mismo y la actividad de transpiración de las plantas emergentes.
- **Caudal efluente:** es el flujo de salida desde el humedal hacia otro cuerpo de agua receptor, que en algunos casos es el río Bogotá. En otros casos los humedales se hallan actualmente desconectados de la red hídrica superficial y tienen comportamientos de flujo cerrado que influyen negativamente en su equilibrio hídrico y de calidad del agua.



Figura 1.9. Buchón o lirio acuático, *Eichhornia crassipes*, planta flotante introducida, invasiva en los humedales, también ayuda en la depuración de aguas residuales. Foto: Thomas McNish

- **Flujos bidireccionales.**

- **Infiltración:** desde y hacia el humedal la infiltración se presenta a través de las diferentes capas de sedimentos recientes y antiguos, sobre los que yace el cuerpo actual del humedal y que lo pueden comunicar con acuíferos superficiales o profundos. En el caso del conjunto de los humedales de Bogotá, la mayor parte se encuentran sobre sustratos arcillosos impermeables y, por lo tanto, la infiltración tiene importancia menor frente a los demás flujos.

La dinámica de la circulación hídrica en el humedal está determinada de manera muy estrecha por la capacidad hidráulica del vaso del humedal. Las diferentes secciones transversales del mismo, de acuerdo con su batimetría, definen los diferentes patrones de inundación y desecación que experimenta de acuerdo al régimen de lluvias y caudales. Un parámetro fundamental para el modelo de requerimientos hídricos de un humedal es su curva hipsométrica, que relaciona la variación del volumen con la del área. Esta curva, característica para cada cuerpo de agua, se puede obtener a partir de los mapas batimétricos (miden la profundidad) detallados. Es posible que un mismo humedal tenga diferentes curvas área-volumen en distintos sectores, debido a la fragmentación natural o inducida por alteraciones antrópicas.

Los humedales de Bogotá son, en general, cuerpos de agua con muy poca profundidad respecto a su área total. En este caso la curva hipsométrica tenderá a una forma como la presentada en la figura 1.10 donde la mayor parte del volumen queda alojado en un vaso de pequeña superficie que corresponde a las zonas profundas, usualmente en sitios muy localizados; a partir de allí incrementos menores de volumen producen grandes ampliaciones en la superficie inundada, cuando el agua cubre con una delgada capa la mayor parte de la extensión del humedal (zona litoral).

El comportamiento dinámico del volumen y el área determinan la extensión relativa del espejo de agua y de las zonas inundadas; por otra parte, determinan el hidropériodo (magnitud de la duración del periodo de inundación) para los diferentes sectores del humedal, lo cual tiene una importancia fundamental para el mantenimiento de las áreas con diversidad de vegetación acuática, eje principal de la variabilidad de hábitat para aves y otros vertebrados e invertebrados.

Asociado con los flujos hídricos se encuentran los flujos y acumulación de contaminantes que se esquematizan en la figura 1.11. El ingreso de contaminantes se da en proporción al flujo de aguas residuales y la salida está en proporción al efluente y la concentración alcanzada en el humedal. La capacidad depuradora del humedal, dada por el metabolismo heterotrófico de su microbiota y de la vegetación acuática, contribuye sustancialmente a la disminución de los contaminantes.

Figura 1.10. Relaciones morfométricas en un humedal.

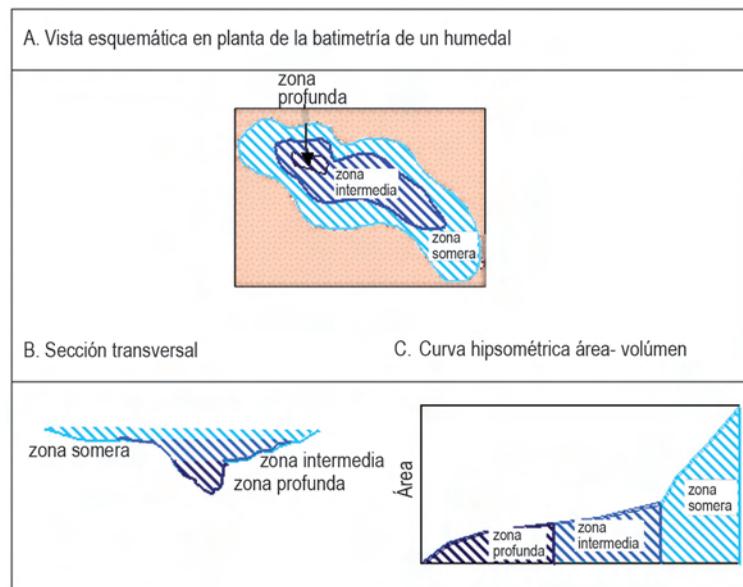
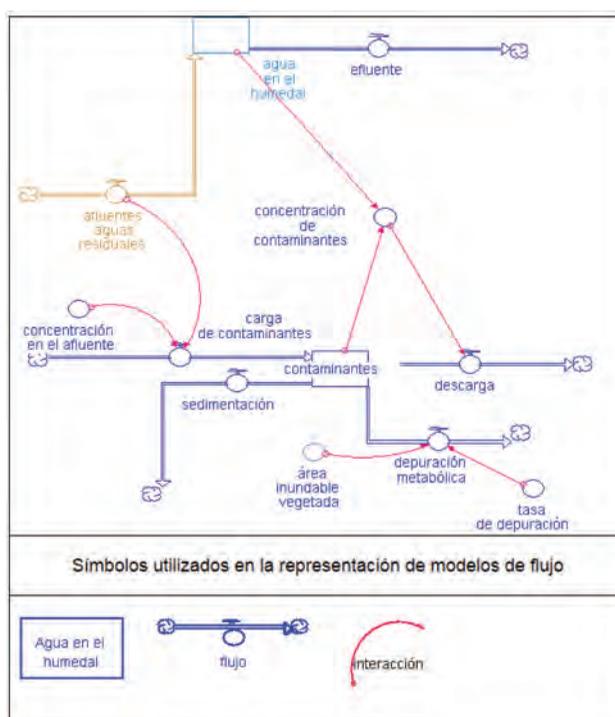


Figura 1.11. Flujo generalizado de contaminantes en un humedal.



Los requerimientos hídricos de un humedal se pueden definir como aquellos necesarios para compensar, por un lado, las pérdidas de origen hidroclimático (evaporación, evapotranspiración) y de origen físico (drenaje, dragados, extracción) y por otro lado el de suplir las necesidades de mantener un espejo de agua y la inundabilidad de áreas emergentes con vegetación que garantice su persistencia como hábitat anfibio. En cuanto a la calidad del agua, los requerimientos se relacionan con la capacidad de dilución del cuerpo de agua y la retención por sedimentación de las cargas contaminantes.

Al considerar los servicios ambientales múltiples que ofrecen los humedales en una zona urbana, resulta de una importancia fundamental la construcción de obras hidráulicas para el control de inundaciones, canales colectores perimetrales, etc. Todos los cuales modifican el régimen natural de caudales y niveles. El diseño y manejo de estas obras deben armonizarse con las necesidades hídricas del ecosistema garantizando una irrigación en las cantidades, calidades y con la periodicidad compatibles con el funcionamiento de los componentes acuáticos, especialmente, de las coberturas de vegetación de macrófitas (Figura 1.12).

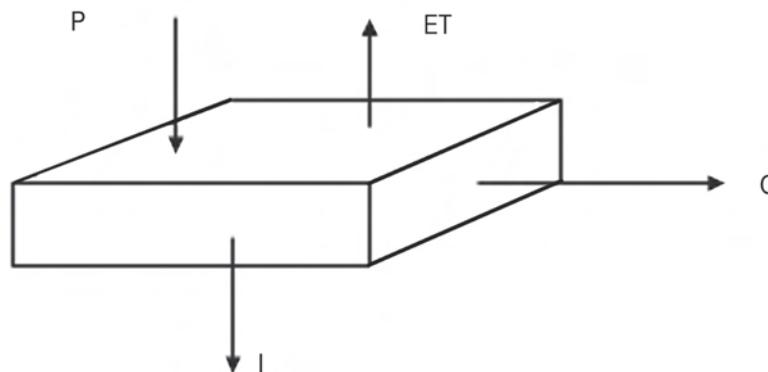
#### 1.4.4. BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL



Figura 1.12. Pradera emergente de macrófitas acuáticas parte alta del humedal de La Conejera. Thomas McNish

El estudio de los volúmenes de agua que entran y salen del humedal en un período de tiempo determinado, es lo que se denomina “balance hídrico”. Estos análisis permiten determinar las épocas de superávit del sistema y de estrés máximo por déficit de agua. Para el análisis del balance hídrico se debe plantear un modelo de balance (volumen de control) que defina las entradas y las salidas del agua para unas condiciones de frontera o límites. La figura 1.13 muestra el modelo de balance hídrico más comúnmente utilizado, en el cual los límites físicos del modelo, definen como entrada la precipitación (P) y como salidas la evapotranspiración (ET), la percolación o infiltración (I) y la escorrentía superficial (Q). Internamente el modelo puede variar el volumen almacenado en sus vacíos.

Figura 1.13. Esquema del modelo de balance hídrico.



Los parámetros  $I + Q$  representan el exceso de precipitación que se convertirá en recarga subterránea y escurrimiento superficial o, en su defecto, el déficit de precipitación del período correspondiente.

El exceso o déficit aparente de agua se calcula:  $P - ET =$  Exceso o Déficit aparente, para no tomar en cuenta el efecto de almacenamiento en el suelo, el cual es un volumen de agua acumulado que suple parte del déficit cuando este se presenta.

La determinación de cada uno de los parámetros del modelo, puede efectuarse por mediciones directas tomadas de los datos históricos de estaciones climatológicas existentes o indirectamente por estimación a partir de otros parámetros climatológicos conocidos (temperatura, insolación, humedad relativa, entre otras).

#### 1.4.5. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE UN HUMEDAL

La realización, durante muchos años, de obras de adecuación y de regulación en los cauces de ríos y quebradas ha dado como resultado cambios importantes en la estructura y procesos ecosistémicos tanto propios como los de ecosistemas asociados en razón de la disminución de los rangos de variación de los regímenes de flujo natural de las aguas.

La importancia de los regímenes naturales en las temporadas de inundación, radica en que el hidroperíodo es la fuerza principal en el control de la estructura y función de los ecosistemas de inundación. Aspectos como la diversidad de especies y la productividad biológica de los humedales, se explican por las temporadas de inundación, que mantienen variable espacial y temporalmente las características acuáticas y terrestres del ecosistema.

Restablecer el régimen natural de inundación es condición indispensable para la recuperación de un humedal. Sin embargo, esta labor no se limita únicamente a establecer procedimientos para incrementar niveles en un humedal desecado, ya que la carencia de pulsos de inundación, dificulta la regeneración de semillas y la consecuente sostenibilidad biótica del humedal. Por lo tanto, sin el adecuado entendimiento de las condiciones hidrológicas creadas, los intentos para la restauración ecológica fallarán.

El análisis del funcionamiento hidráulico de los humedales urbanos de Bogotá debe ser abordado de forma individual, como parte de la formulación y ejecución de los Planes de Manejo Ambiental, acorde con el análisis de las dinámicas ecosistémicas, su hidroperíodo y su funcionamiento hidráulico con el propósito de establecer el modelo más adecuado mediante el cual se pueden restaurar procesos ecológicos, tema que comenzó a ser explorado por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá con el humedal de Juan Amarillo.

El caso del humedal de Juan Amarillo y su interacción con el río del mismo nombre o Salitre, permite comprender mejor esta dinámica hídrica pues la canalización del río Juan Amarillo cambió los materiales que conformaban su lecho y riberas (concreto, piedra pegada, sustrato natural), aumentando de forma importante la velocidad del flujo, ocasionando cambios en el nivel de la lámina de agua, más rápido de lo deseado; también el curso del río fue rectificado en varias ocasiones, lo que alteró su carácter meándrico natural y lo cambió por segmentos más rectos que implicaron menores tiempos de recorrido.

Otro factor de alteración de esta dinámica río-humedal, es el relleno del que ha sido víctima el humedal Juan Amarillo en los últimos 25 años, que ha ocasionado que la diferencia de niveles entre este y el río dificulte el tiempo de retención del humedal, disminuyendo drásticamente los períodos de inundación, pasando de días a horas.

El régimen de inundación es fundamental para mantener las condiciones que permitan la existencia de un ecosistema de humedal de inundación, tal como es el humedal Juan Amarillo. Para restablecer la dinámica río-llanura de inundación en el humedal Juan Amarillo, sería necesario retirar gran cantidad de rellenos y sedimentos que mantienen al humedal por encima del río la mayor parte del año, de tal forma que sea posible obtener dinámicas de inundación y tiempos de retención como condición deseada en la restauración ecológica.

En condiciones normales, un humedal ripario o de plano aluvial actúa como un dispositivo de embalsamiento para la mitigación de inundaciones por desbordamiento de ríos o quebradas en eventos extraordinarios durante la temporada de lluvias. En dichas eventualidades los materiales sedimentados (sólidos y material orgánico) en el cauce de un humedal son arrastrados por estas crecientes, aumentando la capacidad hidráulica del humedal y, por lo tanto, el espejo de agua. Por esta razón, es necesario que un

humedal cumpla con esta condición, como también lo es que un caudal mínimo (en muchos casos agua freática) discurra a través de él. Estos flujos de agua dependen de las siguientes variables hidráulicas:

- Debe existir el tránsito de un flujo constante a régimen subcrítico, es decir, a flujo lento.
- La velocidad del flujo debe ser la adecuada para que cumpla las condiciones de un flujo subcrítico o crítico en los diferentes escenarios del régimen hidrológico. Lo que significa que los procesos biológicos se presentan, generalmente, a flujo lento y el arrastre de sedimento o autolavado se presenta a flujo rápido.
- La pendiente del cauce de un humedal cumple un papel importante y condiciona las variables anteriores, pues para pendientes suaves tenemos flujos lentos y lo contrario para pendientes altas, por consiguiente, es vital para un humedal que existan pendientes pequeñas en el tránsito del flujo pero que, además, permita la evacuación o arrastre de sedimentos.

Este tipo de humedales de plano aluvial son por lo general longevos siempre y cuando los fenómenos antrópicos negativos no incidan sobre estos, como en el caso del humedal Tibanica, el cual ha sido desconectado de su canal de irrigación y que en este momento solo percibe las aguas lluvias que caen sobre su área de incidencia y de las conexiones erradas del alcantarillado de las viviendas vecinas.

Para la recuperación o rehabilitación de un humedal es necesario y vital un análisis del ciclo hidrológico, el cual se define como: la formulación matemática de la ley de la conservación de la masa, aplicada al agua en un sistema dado; también es la cuantificación de las necesidades de humedad del suelo de un humedal; además, permite establecer la disponibilidad real de agua en un espacio y las relaciones temporales entre la oferta y la demanda hídrica. Su cálculo se lleva a cabo mediante la elaboración del balance hídrico que involucra el cómputo entre la precipitación y la evapotranspiración, conociéndose de antemano, por medio del cálculo de la capacidad de almacenamiento del suelo y la humedad que puede retener. Este balance puede ser calculado por métodos directos o indirectos, en la generalidad los balances son calculados por métodos indirectos debido a la falta de instrumentación *in situ*, sin embargo, estos métodos proporcionan una estimación acertada para el posterior análisis de oferta y demanda en un determinado humedal.

Es necesario, al momento de hacer monitoreos, tener en cuenta el porcentaje de agua que entra a un humedal por conexiones erradas. En lo posible, hacer análisis pluviométrico *in situ*, análisis de evapotranspiración, aforos de caudales de las quebradas y ríos que aportan al humedal, análisis de las aguas de escorrentía, batimetrías e instalación de miras de nivel. Con los datos arrojados de los análisis de monitoreo y balance hídrico, se puede determinar cuales son las variables a modificar, por ejemplo, si es necesario reconfigurar las pendientes, introducir agua de otras fuentes, crear estructuras de vertimientos, realizar mantenimientos periódicos y obras de mitigación de altas contaminaciones. Es así como la rehabilitación de un humedal específico debe estar supeditada tanto a análisis previos de modelamiento hidráulico, como de factibilidad económica y financiera.

Una de las alternativas más viables para recuperar el déficit de agua de un humedal es la conexión de este con los colectores de aguas lluvias (Plan Maestro de Alcantarillado Pluvial EAAB) y en lo posible su reconexión hidráulica al canal natural, el cual le aportará, por desbordamiento, en temporada de lluvia. Una de las formas de cálculo de este caudal de desbordamiento es el siguiente (Adaptado del RAS 2000).

## 1.5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN LOS HUMEDALES<sup>5</sup>

Los suelos de los humedales no han sido estudiados con suficiente detalle desde el punto de vista edafológico y su caracterización es aún muy deficiente. En la revisión de la literatura, se puede encontrar una primera aproximación de estudios generales de suelos que se han enfocado a la clasificación y cartografía general de los suelos de la sabana de Bogotá (Cortés, 1982; IGAC, 1989) o de estudios muy generales de los suelos de Colombia (IGAC, 1995). Otro grupo de información, se ha enfocado en conocer la historia paleoecológica en el ámbito de la sabana de Bogotá y los principales eventos que influyeron en la sedimentación y evolución del relieve, como se destaca en el estudio Geológico-Geomorfológico del Neógeno-Cuaternario de la Sabana de Bogotá, Cuenca Alta del Río Bogotá (IGAC, 1989).

Estos estudios sirvieron de base para el Plan Ambiental de la Cuenca Alta del Río Bogotá, Análisis y Orientaciones para el Ordenamiento Territorial, (Van der Hammen, 1998), sintetizan la historia geológica-geomorfológica de la Sabana para su recuperación ambiental, a partir de definición y análisis de la Estructura Ecológica Principal y la propuesta de alternativas de manejo. El análisis de esta información permitió reconocer la influencia histórica y ambiental de los humedales en el contexto regional de la sabana de Bogotá.

Una aproximación un poco más detallada se tiene con los estudios de la CAR, en el Plan Regional de Gestión Ambiental (1999), en los que presentan una visión regional del origen y procesos de evolución de los suelos de la cuenca alta del río Bogotá y proporciona una caracterización de los suelos hidromorfos de la Sabana a escala 1:100.000. Estos mapas fueron presentados en el documento “Los Humedales de Bogotá y la Sabana” (EAAB-CI, 2003).

De este estudio se puede deducir que los principales tipos de suelos que estarían relacionados con los humedales de Bogotá corresponden a inceptisoles, entisoles, alfisoles, vertisoles y andisoles (fig.1.14). En esta misma escala de trabajo se presenta el estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca (IGAC, 2000), se caracterizaron los suelos del paisaje de planicie fluvio lacustre del río Bogotá y se ilustra con varios esquemas y fotografías de los perfiles realizados, por lo cual se constituye en una fuente muy importante de comparación y análisis. Este tipo de estudios son importantes porque aportan elementos conceptuales sobre los suelos en general y sus características.

Un humedal está rodeado por una superficie variable de suelo que presenta fluctuaciones del nivel freático y determina un gradiente hídrico desde el borde del cuerpo del humedal con suelos hidromorfos, hasta las zonas de terreno más elevadas y bien drenadas en las terrazas altas del humedal. En este sentido el concepto de suelo de un humedal estaría limitado al suelo sujeto a la influencia directa de las fluctuaciones mínimas y máximas del nivel de aguas –suelos hidromorfos– y desde el punto de vista geomorfológico comprendería los suelos hasta los bordes o terraza alta que rodean y drenan sus aguas hacia la cubeta lacustre del humedal. Según el IGAC (2000), en los planos de inundación predominan los suelos de menor evolución (Entisoles e Inceptisoles), influenciados en algunos sectores por cenizas volcánicas. En las terrazas se observa un mayor desarrollo de la población edáfica (Inceptisoles, Andisoles y Alfisoles), allí, el material de origen de los suelos (ceniza volcánica y depósitos clásticos hidrogénicos de origen lacustre y aluvial) y el clima han dominado la génesis de los suelos.

<sup>5</sup> Para mayor información sobre las características de los suelos en humedales, revisar consultoría No. 172/04 Rivera, O.D. 2005. Centro de Documentación DAMA, hoy Secretaría Distrital de Ambiente.

### 1.5.1. FACTORES AMBIENTALES Y EDAFOGÉNESIS

Un factor de formación de suelos es un agente, una fuerza, una condición, una relación o una condición de ellos, que afecta, ha afectado o puede influir en un material original del suelo, con potencial para cambiarlo. En general, se han reconocido cinco grandes factores formadores de suelos: material original (aspectos químicos, aspectos físicos), relieve (elevación, pendiente, profundidad del nivel freático), clima (precipitación, temperatura), organismos (fauna, flora) y tiempo (Buol et al. 1990).

El análisis de la historia ambiental de la sabana de Bogotá realizados por Van der Hammen (1992, 2003), demuestra como las fluctuaciones climáticas del pasado fueron un factor significativo en la formación de los suelos actuales y del paisaje, después de la desaparición de la laguna, que ocurrió aproximadamente desde 28.000 hasta 30.000 años a. p. (antes del presente) y se desarrolló un sistema natural de drenaje que corresponde a las chucuas o humedales actuales. En este paisaje de la planicie aluvial del río Bogotá, los suelos de los humedales de Bogotá presentan una gran variación en cada humedal y a nivel regional.

En el marco regional la combinación de los factores temperatura, humedad y aireación y sus variaciones a lo largo del año, constituyen el edafoclima o clima interno del suelo. El edafoclima refleja en gran parte las condiciones del clima general, principalmente, en lo que se refiere a la temperatura y la humedad, pero depende ampliamente también de las propiedades físicas intrínsecas del suelo: permeabilidad, porosidad y textura; para un mismo clima general existen numerosos edafoclimas diferentes que a menudo reflejan los factores estacionales (Duchaufour 1987).

Con relación al clima los humedales de Bogotá del sector norte presentan una tendencia a régimen údico (más húmedo), con precipitación media anual de 1100 m.m. y régimen ústico (más seco) para los humedales localizados en el corredor seco del sur y suroccidente de la ciudad, donde la precipitación es de 500-800 mm. La distribución de las lluvias corresponde a un régimen bimodal tetraestacional, es decir, con dos estaciones lluviosas, la primera de abril a mayo y la segunda estación lluviosa ocurre de octubre a noviembre. Las estaciones secas se presentan de diciembre a marzo y el verano de mitad de año julio a agosto. Esta estacionalidad climática marca en el ecosistema de humedales de Bogotá, cuatro pulsos estacionales y definen los procesos y características edáficas actuales.

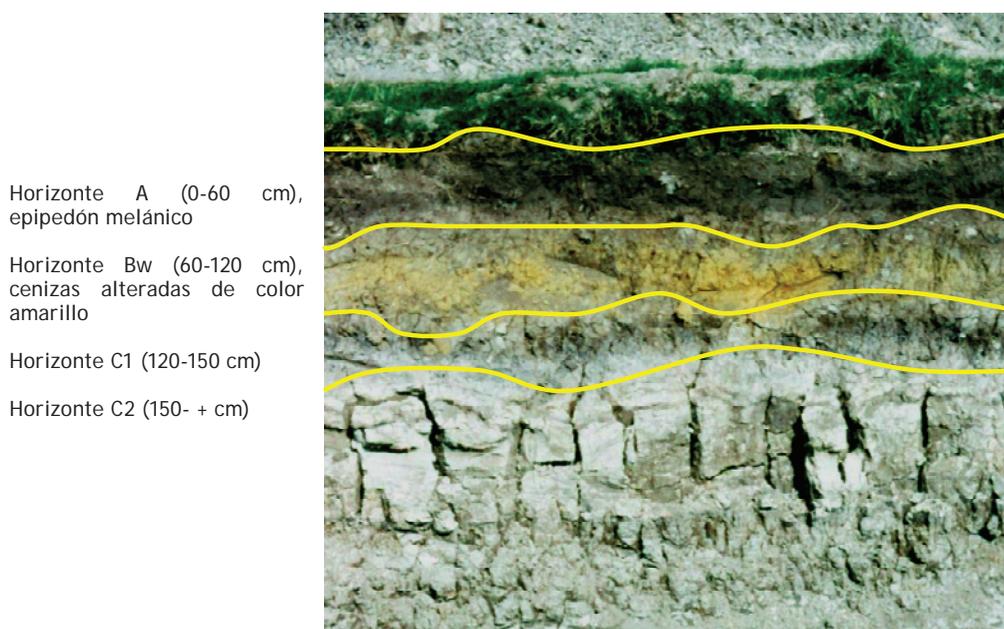


Figura 1.14. Suelos Andisólicos: dos capas oscuras revelan la alteración de cenizas volcánicas y humus. La capa intercalada de coloración amarillo verdoso de cenizas alteradas y limo se formó durante el máximo de la última glaciación (aproximadamente entre 23.000 y 18.000 años a. C.). El suelo oscuro inferior se formó antes, y el superior después de este intervalo. En el fondo se observan las arcillas grises, sedimentos de la antigua laguna de la sabana. (Fotografía y pie de foto según Van der Hammen, 2003).

### 1.5.2. EL RELIEVE E HIDROMORFIA

A pesar que aún no se cuenta con una caracterización detallada, la forma del relieve en la cubeta lacustre, la periferia o ronda de los humedales de Bogotá, tiene una gran influencia sobre el desarrollo de los suelos. Los humedales, por estar en la planicie aluvial del río Bogotá, presentan suelos sujetos a hidromorfia, poco desarrollados, que se formaron bajo condiciones de altos niveles de agua freática y fluctuaciones estacionales. Algunos humedales como el de Juan Amarillo, Jaboque, se formaron en valles de erosión, por esta razón presentan una zona litoral excavada y con diferentes niveles de terrazas, otros humedales como el de Tibanica se formaron en amplias zonas deprimidas del terreno de suave pendiente y con poca profundidad, lo que les proporciona diferentes condiciones de fluctuación del nivel freático. Sin embargo, en la historia reciente de la ciudad de Bogotá la construcción de jarillones, canales de drenaje y las actividades de relleno con escombros en los humedales, han modificado significativamente las formas de relieve original, formadas por diferentes niveles de terrazas, formas de orillares, meandros y basines.

### 1.5.3. PRINCIPALES PROCESOS DE LA EDAFOGÉNESIS

Siguiendo los lineamientos de Duchaufour (1987), en los humedales se conjugan condiciones ambientales muy particulares –en combinación con el factor tiempo- que dan origen a determinados procesos edafogénicos y confieren los caracteres al suelo de humedal. Pueden ser clasificados en cuatro grupos principales:

- **Procesos ligados a la humificación:** en los humedales de Bogotá, el clima frío y la lenta descomposición de la materia orgánica favorecen cierto nivel de acumulación, en especial, cuando la materia orgánica se desarrolla en un medio de aguas residuales pobres en oxígeno, de otra parte, se conoce que la materia orgánica y sus compuestos húmicos son rápidamente perdidos por drenaje del sistema. Estudios recientes (EAAB-Universidad Nacional, 2005) atribuyen a la materia orgánica acumulada en los humedales funciones importantes como retenedora de gran cantidad de agua lo que favorece el balance hídrico del ecosistema. En terrenos mejor drenados, la materia orgánica actúa en los procesos de transformación del suelo a partir de la formación de complejos órgano-minerales, de naturaleza variable. En coberturas de matorrales o en viejos pastizales de kikuyo, se observa un proceso de empardecimiento por lavado de la materia orgánica soluble, que empieza a transformar o alterar las arcillas del perfil del suelo.
- **Procesos condicionados por fuertes contrastes estacionales:** los humedales de Bogotá, en general, se caracterizan por presentar una fuerte estacionalidad climática, mucho más marcada en los humedales localizados en el sur y sur occidente: La Vaca, Techo, El Burro, Tibanica, entre otros. La alternancia de la estación seca a la estación lluviosa con desecación e inundación, respectivamente, influyen sobre la evolución de la materia orgánica y de la materia mineral al mismo tiempo. El proceso que se puede observar es la vertisolización, caracterizado por los movimientos vérticos, es decir, la retracción y la expansión de las arcillas, durante este proceso se forman grandes grietas en la superficie del suelo y con el tiempo se rellenan con materia orgánica, en la temporada húmeda las arcillas se expanden nuevamente y produce un efecto de homogenización del suelo. En el mapa de distribución genética de suelos de la cuenca alta del río Bogotá (CAR, 1999), este tipo de suelo es identificado como Inceptisol - vértico y Alfisol - Álfico.
- **Procesos por alteración geoquímica:** en este proceso se alteran, principalmente, los minerales primarios como la sílice y de bases. Es independiente de la materia orgánica superficial. Al liberarse los óxidos de hierro, abundantes y bien cristalizados, proporcionan una coloración ocre al perfil, principalmente mediante el proceso de ferruginación, en el que predominan arcillas neoformadas de tipo caolinita. Los estudios paleoecológicos y paleolimnológicos, revelan que el altiplano de la

sabana de Bogotá recibió durante diferentes épocas del pasado, grandes aportes de ceniza volcánica transportada por los vientos desde la cordillera central. Estas cenizas volcánicas, ricas en alófanos, un silicato de aluminio mal cristalizado y de productos amorfos (gel de Si, Al), con el que se unen las materias orgánicas, además, del clima frío, favorecieron la formación de los Andisoles, que se desarrollan en las terrazas altas con suelos ándicos y andisoles hidromorfos en zonas planas inundables cubiertas con suelos derivados de cenizas volcánicas.

- **Procesos por condiciones físico-químicas de la estación:** un carácter distintivo de los suelos de humedales es la presencia de un horizonte que denota la condición de saturación de la porosidad del suelo, bien sea de tipo permanente o intermitente. En el perfil del suelo se puede observar una capa más o menos continua de material arcilloso gris (horizonte gley), generado en etapas de encharcamiento con pobre o nula aireación del suelo; o con alternancia de gránulos grises y rojizos, cuando se trata de suelos con fluctuaciones en el nivel freático, que se forman al oxidarse el suelo en períodos de desecamiento. En el sentido de Duchaufour (1987), los suelos hidromorfos se caracterizan por presentar fenómenos de reducción o de segregación local del hierro, debidos a su saturación temporal o permanente por el agua, que provoca un déficit de oxígeno. Los más evolucionados y los más diferenciados son los más ácidos, facilitando esta acidez la reducción del hierro (manchas de herrumbre).

La estacionalidad del clima en la sabana de Bogotá hace que de forma cíclica durante el año los suelos de los humedales estén expuestos a fluctuaciones de condiciones de oxidación a las de reducción. De acuerdo con Buol (1990), la oxidación es una reacción geoquímica importante en la que por transferencia de electrones el ión ferroso ( $Fe^{2+}$ ) pasa a férrico ( $Fe^{3+}$ ). La oxidación del hierro es un proceso de intemperización desintegrante en los minerales que contienen el ión ferroso como parte de su estructura. El cambio de tamaño y la carga de este elemento, al convertirse a la forma férrica, hacen que la estructura mineral se rompa. El hierro liberado por esta desintegración de minerales primarios se une con hidroxilo (OH) u oxígeno para formar minerales de hierro. Así mismo, el manganeso se desprende “libre” mediante la oxidación de los minerales primarios. Al aumentar la acidez, el hierro ferroso se va haciendo cada vez más estable en las condiciones más oxidantes.

Durante la estación lluviosa, el nivel freático sube, el suelo está saturado de agua y el ambiente geoquímico adquiere condiciones reductoras. El oxígeno es escaso y aumenta a la vez la demanda biológica de este elemento. Ocurre entonces el efecto contrario: la reducción del hierro a la forma ferrosa. Las fluctuaciones del agua freática ascendente o descendente hacen que el ecosistema pueda perder hierro. Según el autor en mención, si el hierro ferroso permanece en el ecosistema, reacciona para formar sulfuros y compuestos relacionados, que da coloración verde y azul verdoso a los sedimentos. Si el hierro permanece como óxido ferroso hidratado (lepidocrocito) en el material del suelo, proporciona un moteado amarillo y anaranjado característico. ( Fig. 1.15)

#### 1.5.4. PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS EN EL GRADIENTE HÍDRICO DE HUMEDAL

Para hacer una interpretación general de los suelos de humedal, se realizó un corte idealizado de una secuencia topográfica del gradiente hídrico en la que se representa la franja litoral o zona de ronda del humedal. Se identificaron tres grandes zonas (Figura 1.16):

- **Suelos de la zona baja:** cubiertos permanentemente de agua, predomina el suelo aluvial hidromorfo con Entisoles e Inceptisoles poco diferenciados.
- **Suelos de la zona media:** con fuerte fluctuación estacional del nivel freático, expuesta a períodos de inundación estacional y períodos de sequía, suelos Entisoles e Inceptisoles vérticos y Vertisoles.

- **Suelos de la zona alta:** bien drenados, suelos tipo Alfisoles y Andisoles-ándicos.

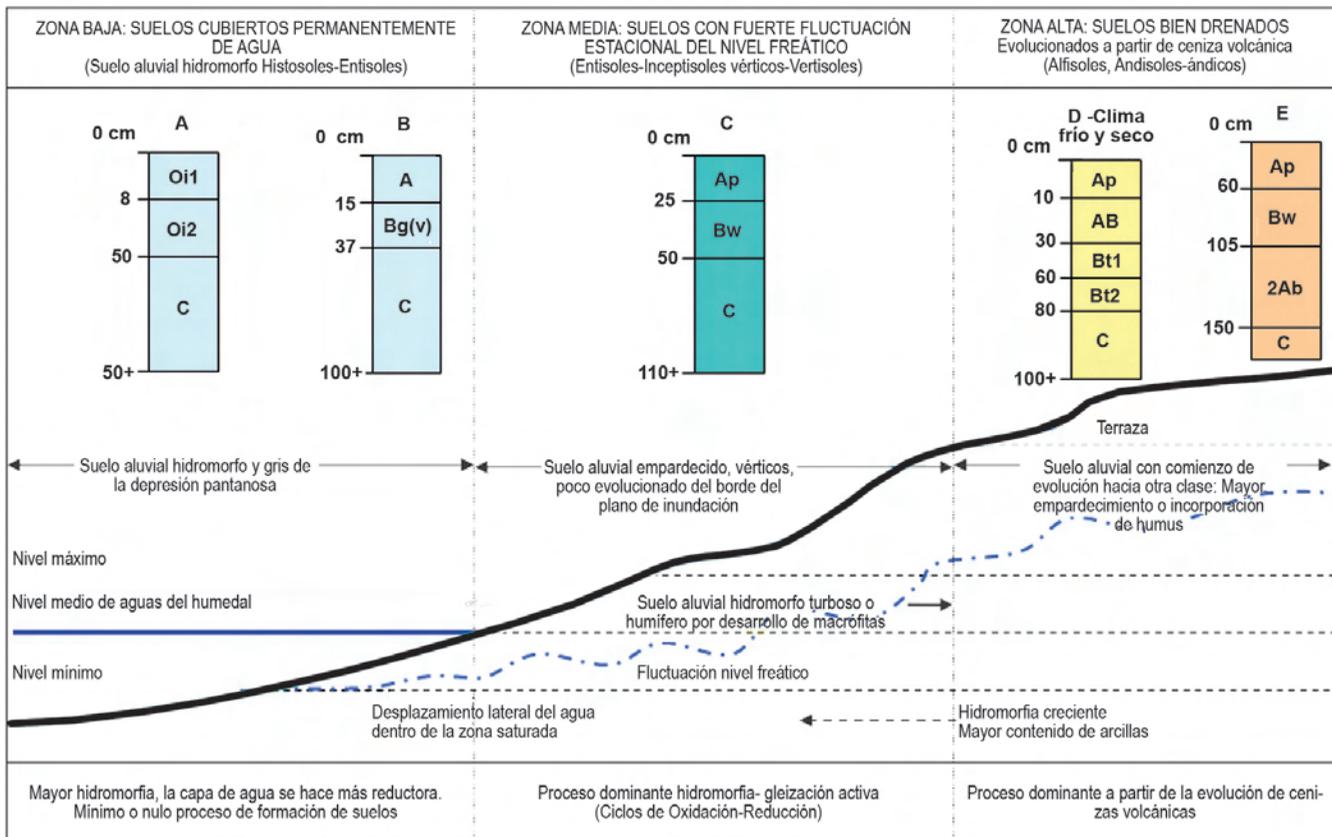
Con base en la fluctuación del nivel freático, la posición topográfica, la influencia de depósitos de espesor variable de ceniza volcánica de diferente grado de evolución y el clima local, se pueden reconocer preliminarmente seis grandes órdenes de suelos en los humedales de Bogotá, representados por los Histosoles, Entisoles, Inceptisoles, Andisoles-ándicos, Alfisoles y Vertisoles.



Figura 1.15. Suelo libre de agua superficial durante la estación seca o de verano en el humedal Tibanica. El suelo se expone a una fuerte desecación (oxidación), otra parte del suelo permanece bajo condiciones reductoras. David Rivera.

Las características y su descripción se realizan con base en el estudio general de suelos y zonificación de tierras realizado por el IGAC (2000), entre otras fuentes.

Figura 1.16. Esquema conceptual idealizado del gradiente hídrico de un humedal. Muestra la fluctuación del nivel de aguas y tipos de suelos. A) Histosoles, B) Entisoles, C) Inceptisoles vérticos y Vertisoles, D) Alfisoles, E) Andisoles ácidos. (David Rivera).



## 1.6. COMPONENTE BIÓTICO

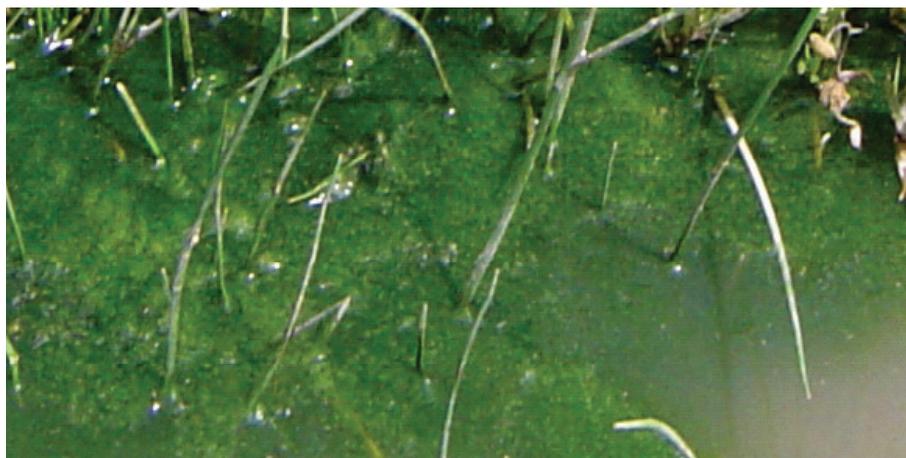


Figura 1.17. Flóculos o masas flotantes de algas cianofíceas filamentosas, *Oscillatoria sp*, indicadora de eutrofización y bajos niveles de oxigenación. David Rivera.

### 1.6.1. FITOPLANCTON

Constituido por una amplia variedad de organismos protistas unicelulares, coloniales o filamentosos, con tamaños entre 5 y 100  $\mu\text{m}$ , pertenecientes a las diferentes clases de microalgas. Debe tenerse en cuenta que el desarrollo de poblaciones verdaderamente planctónicas en los humedales se halla limitado por la existencia o no de sectores con una columna de agua de profundidad y con penetración de la luz suficientes para llevar a cabo todo su ciclo de vida suspendidos en el agua. Son abundantes las diatomeas, cianofíceas (fig. 1.17) y euglenofíceas, entre otras.

En la mayor parte de los casos los organismos que se colectan con muestreos “planctónicos” en los humedales corresponden a individuos resuspendidos desde el bentos o desprendidos de los sustratos por la turbulencia desde el perifiton. Por otra parte, la presencia de macrófitas flotantes en forma de tapetes flotantes densos, puede ejercer una limitación por ensombrecimiento.



Figura 1.18. Hojas sumergidas cubiertas por microalgas del perifiton, como las diatomeas. David Rivera.

### 1.6.2. PERIFITON

Conformado por un conjunto de microalgas y macroalgas que se desarrollan sobre materiales sumergidos, especialmente, sobre la porción sumergida de las macrófitas. Variables ambientales de radiación, temperatura, precipitación, la disponibilidad de nutrientes, la profundidad y la fluctuación de los caudales, son determinantes de su diversidad. Uno de los grupos más diversos del perifiton son las diatomeas. ( Fig. 1.18).

### 1.6.3. VEGETACIÓN ACUÁTICA Y SEMIACUÁTICA

Constituyen el elemento estructural más notable del paisaje de los humedales, presentan diversas adaptaciones a las condiciones de saturación de humedad del suelo y a los diferentes grados de inundación, lo cual define los biotipos generales:

- Según la posición, dentro de la columna de agua se diferencian: las plantas sumergidas que se desarrollan en su totalidad debajo de la superficie del agua, y las plantas emergentes que tienen la totalidad o parte de sus hojas y vástagos por encima de la superficie del agua.
- De acuerdo con la fijación de los sistemas de raíces se pueden diferenciar las plantas libres y las plantas enraizadas.

La combinación de estos dos criterios, produce el sistema de diversidad de biotipos que se esquematizan en la Tabla 1.2

Tabla 1.2. Biotipos de vegetación acuática y semiacuática.

Biotipos	Enraizadas	Libres
Sumergidas	Hyphydata (Ej: <i>Potamogeton</i> , <i>Egeria</i> )	Mesopleustophytas (Ej: <i>Utricularia</i> , <i>Wolffia</i> )
Emergentes	Helophytas (Ej: <i>Juncus</i> , <i>Typha</i> , <i>Bidens</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Rumex</i> )	Acropleustophytas (Ej: <i>Limnobium</i> , <i>Azolla</i> )

### 1.6.4. ZOOPLANCTON

Este grupo de organismos microscópicos está formado por microcrustáceos, rotíferos y protozoos, es parte fundamental de la cadena alimenticia de los humedales. Estudios detallados en el humedal de Jaboque (EAAB-Universidad Nacional, 2005), registraron un total de 93 taxones de zooplancton. Los rotíferos representaron el mayor número de especies y morfoespecies (62 taxones) distribuidos en 15 familias, de las cuales las más diversas fueron Notommatidae y Lecanidae (14 y 13 taxones). Le sigue en orden de importancia los cladóceros (17 taxones), con Chydoridae y Daphnidae como las familias más representativas (10 y 4 taxones). El grupo con la menor riqueza fue el de los copépodos (12 taxones).

### 1.6.5. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Son animales entre 200  $\mu\text{m}$  y 10 mm y que comprenden una gran variedad de grupos de invertebrados que abarcan desde microcrustáceos, anélidos, formas inmaduras de insectos, gusanos planos (platelmintos), gusanos redondos (nemátodos) y moluscos.

### 1.6.6. VEGETACIÓN TERRESTRE

Como consecuencia de la profunda transformación que han tenido por décadas los humedales de Bogotá, la cobertura vegetal presente en las rondas y las Zonas de Manejo y Preservación Ambiental (ZMPA) de dichos ecosistemas, ha desaparecido casi por completo. En su mayoría solo quedan rezagos de vegetación exótica la cual fue introducida en aras de alindar las tierras y secar el cuerpo de agua. Se sembraron especies como eucaliptos (*Eucalyptus* spp), acacias (*Acacia* spp), cipreses (*Cupressus lusitanica*), urapanes (*Fraxinus chinensis*), principalmente, sauces (*Salix humboldtiana*), saucos (*Sambucus peruviana*) sin ser representantes del bosque original, y solo algunas especies nativas como aliso (*Alnus acuminata*).

Es importante resaltar dos comunidades boscosas que se encuentran en cercanías del humedal de La Conejera, la primera, conocida como “La Maleza de Suba” dominada por paloblanco (*Ilex*)-raque (*Vallea*) arrayán (*Myrcianthes*) y la segunda, localizada en el Cerro La Conejera, constituida por matorrales secundarios con presencia de algunos encenillos (*Weinmannia tomentosa*) (CIC, 2001).

### 1.6.7. COMPONENTES PROPIOS, PERIFÉRICOS Y EXTERNOS DE LA FAUNA

Los humedales son ecosistemas altamente dinámicos, con frecuencia presentan cambios estacionales muy marcados debido a las variaciones de los niveles de las aguas, que a su vez reflejan cambios en la intensidad de las lluvias en sus cuencas a lo largo del año. Estas fluctuaciones por su parte producen cambios estacionales en el grado de saturación de los suelos y en la vegetación de por lo menos la periferia del humedal. Los animales que viven en estos ambientes requieren de una serie de adaptaciones de su fisiología y comportamiento, distintas a las de las especies terrestres. Por esto, la diversidad taxonómica de la fauna que habita los humedales suele ser baja en relación a la de los ecosistemas terrestres, pero muchos grupos son más o menos específicos de estos ecosistemas.

Sin embargo, desde el punto de vista de la fauna la distinción entre “acuático” y “terrestre” no es tan clara como en el caso de la vegetación. Si bien hay especies que siempre están asociadas con la fase acuática del humedal y otros con los ecosistemas terrestres aledaños, también hay mucha que vive en ambos ecosistemas. Artrópodos y algunos anfibios tienen fases larvales acuáticas y fases adultas que viven fuera del agua y hasta fuera de los humedales mismos, por lo menos en parte.



Figura 1.19 - 1.20 Chirriador, *Cistothorus apolinari* (Izquierda), es una especie endémica altamente amenazada, propia de los humedales de Bogotá, cuya conservación es de alta prioridad. El Juncal como hábitat determina la presencia de esta especie que lo necesita para forrajeo, anidación y refugio. Copetón, *Zonotrichia capensis* (derecha), especie periférica que vive tanto afuera como adentro de los humedales y no presenta problemas de conservación. Thomas McNish

En otros grupos como los reptiles y los mamíferos, las especies que se encuentran en los humedales a menudo no están restringidas a estos; en muchos casos, estos representan un componente relativamente pequeño del espectro de hábitat que ocupan.

Entre las aves hay familias como las garzas que universalmente se consideran como “acuáticas” aunque incluyen especies, como la garza del ganado (*Bubulcus ibis*) que busca su comida en ecosistemas terrestres y familias consideradas “terrestres” (como los cucaracheros) con especies restringidas a los humedales. Por esto, es mejor clasificar la fauna en términos del grado de dependencia de los recursos del humedal y no en grupos “acuáticos” y “terrestres” como tal.

- **Especies propias**

En primer lugar, hay un grupo de especies que se pueden considerar propias de los humedales: dependen absolutamente de los recursos que el humedal les provee y son residentes en los humedales durante parte o todo su ciclo de vida, como el Chirriador (Figura 1.19).

- **Especies periféricas**

En segundo lugar, hay un grupo de especies periféricas que viven en los ecosistemas aledaños y con frecuencia se encuentran en los bordes (rondas) de los humedales, pero, generalmente, no son frecuentes adentro de ellos y no muestran una dependencia tan estrecha de los recursos de los humedales mismos, como el Copetón (Figura 1.20).

- **Especies externas**

Hay un grupo menos definido de especies externas que en contadas ocasiones han sido registradas dentro o en proximidades de algún humedal, pero más bien por casualidad: no son propias ni de los humedales ni de los ecosistemas que los rodean.

El pato zambullidor y la tingua pico rojo son especies propias residentes de amplias distribuciones y sin problemas de conservación; la tingua azul es una especie migratoria dentro del país que aprovecha los humedales de Bogotá durante su paso por la cordillera. (Fig. 1.21-1.23)

Los humedales del altiplano cundiboyacense ilustran muy bien estas características, con el ingrediente adicional de una alta proporción de taxones endémicos debido a su aislamiento de otros sistemas de humedales altoandinos.

Las aguas de los humedales soportan un conjunto diverso de invertebrados propios, desde protozoarios hasta moluscos, crustáceos e insectos acuáticos (estos últimos incluyen las larvas o ninfas de especies que viven fuera del agua como adultos,

por ejemplo, libélulas, efemenópteros, quironómidos y otros). Los hábitos alimenticios de este conjunto son también variados: hay consumidores de detritus y materia en descomposición, herbívoros de varios tipos desde protozoarios hasta caracoles e insectos grandes y depredadores desde niveles microscópicos como protozoarios y celenterados, hasta carnívoros de mayor tamaño, incluyendo las larvas o ninfas de insectos grandes como algunos hemípteros y libélulas.

Los humedales también tienen una fauna propia de vertebrados diversa y en buena medida distinta de la fauna de las áreas terrestres circundantes (Calvachi, 2003). Entre los grupos propios hay muchas especies ligadas directamente al agua misma durante todo su ciclo de vida o parte de ella por ejemplo, anfibios (Lynch y Rengifo, 2001), además de especies de grupos que se reproducen fuera del agua pero obtienen sus recursos alimenticios de la vida acuática (animal o vegetal) propiamente dicha. Entre estos grupos se incluyen varios reptiles, principalmente, depredadores (serpientes), aves y mamíferos de dietas variadas.

Las aves acuáticas propias de los humedales incluyen especies que nadan y bucean como los zambullidores (Podicipedidae), y patos (Anatidae), los que caminan en agua panda o sobre la vegetación



Figura 1.21. Pato zambullidor piquipinto, *Podilymbus podiceps*. Thomas McNish



Figura 1.22. Tingua de pico rojo, *Gallinula chloropus*. Residente permanente de los humedales. Thomas McNish



Figura 1.23. Tingua azul o gallareta morada *Porphyryla martinica*. visitante ocasional. Thomas McNish

acuática como varios chorlos (Scolopacidae), tinguas (Rallidae) y garzas (Ardeidae) y las que se lanzan desde el aire para atrapar presas en el agua como ocurre con el martín pescador (Alcedinidae), charranes (Laridae) y el águila pescadora (Pandionidae). También hay especies de grupos terrestres que muestran un alto grado de especialización para vivir en los humedales, como la monjita (*Agelaius icterocephalus*, Icteridae) y el chirriador (*Cistothorus apolinari*, Troglodytidae) y algunas especies de mosqueros o atrapamoscas (Tyrannidae).

Algunas especies de aves anidan en los humedales, pero buscan su alimento, principalmente, fuera de ellos como la garza del ganado, mientras otras anidan o se reproducen en otros hábitat y vienen a los humedales en busca de comida, como ciertos patos y gavilanes (Accipitridae). Muchas especies de aves acuáticas anidan en las zonas templadas y subpolares de los hemisferios norte y sur (con frecuencia en hábitat terrestres como estepas o tundra), luego vienen a los humedales y costas tropicales para pasar las épocas de invierno de las latitudes altas. Durante varios meses estas aves migratorias, como los chorlos o correlimos en Bogotá, son especies propias de los humedales (Hilty y Brown, 1986; Naranjo, 1998; ABO, 2000).

En áreas tropicales con cambios estacionales fuertes de pluviosidad y como consecuencia, en los niveles de las aguas, las aves acuáticas locales también pueden realizar movimientos de diferentes magnitudes entre humedales; tal parece ser el caso de la tingua azul (*Porphyryla martinica*) (Figura 1.23), que llega a la sabana de Bogotá entre diciembre y marzo y otra vez a mediados del año (ABO, 2000). Otras aves como los chamonos (*Molothrus bonariensis*, Icteridae) usan la vegetación de los humedales como dormitorio porque es más segura (hay menos depredadores acuáticos que terrestres).

Muchas especies de animales terrestres viven en los alrededores de los humedales, pero no dependen de los recursos de ellos o lo hacen sólo en forma parcial. Entre estas especies periféricas están varios insectos, arañas, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Calvachi, 2003) (Fig. 1.24). Varios de ellos encuentran buenos recursos alimenticios en los humedales aunque pueden perfectamente forrajear afuera de ellos: entre muchos ejemplos se pueden citar los insectos que visitan y polinizan las flores de plantas acuáticas y las aves y murciélagos que ocupan las rondas y visitan o sobrevuelan los humedales con mayor o menor frecuencia para cazar insectos, las lagartijas y mamíferos como las comadrejas que viven indiferentemente adentro o afuera de los humedales.

Así por ejemplo, en el humedal Jaboque, estudios recientes de la EAAB-Universidad Nacional (2005) registraron 74 especies de aves pertenecientes a 20 familias; 31 de las especies constituyen nuevos registros para el humedal (la gran mayoría siendo apenas visitantes ocasionales). En cuanto a artrópodos, se han identificado 212 especies, distribuidas en 48 familias y 7 órdenes de los cuales los más abundantes son dípteros e himenópteros.



Figura 1.24. Rana verde del humedal, *Hyla labialis*, una especie no restringida a los humedales, vive ampliamente en los Andes; la subespecie es endémica del altiplano cundiboyacense. Thomas McNish.

Varios de ellos encuentran buenos recursos alimenticios en los humedales aunque pueden perfectamente forrajear afuera de ellos: entre muchos ejemplos se pueden citar los insectos que visitan y polinizan las flores de plantas acuáticas y las aves y murciélagos que ocupan las rondas y sobrevuelan los humedales con mayor o menor frecuencia para cazar insectos, las lagartijas y mamíferos como las comadrejas que viven indiferentemente adentro o afuera de los humedales.

En cualquier inventario de la fauna, un humedal es importante distinguir las especies periféricas de las especies propias del humedal. La degradación o eliminación del humedal tendría un efecto más drástico sobre las especies propias que sobre las periféricas y puede llevarlas a la extinción local o hasta global. De hecho, la única especie de ave colombiana que se ha extinguido del todo, en tiempos históricos, fue una especie propia y endémica de los humedales del altiplano cundiboyacense: el cira o zambullidor andino *Podiceps andinus* (Podicipedidae). Además, se han extinguido tres subespecies de aves colombianas propias de los humedales del altiplano (el pato castaño *Anas cyanoptera borroeroi*, el pato pico de oro *A. georgica niceforoi* (Anatidae) y el mosquerito tachurí *Polystictus pectoralis bogotensis* (Tyrannidae). En cuanto a invertebrados, es difícil ser muy específico porque en la mayoría de los grupos, el conocimiento taxonómico es demasiado rudimentario para permitir la identificación de especies. (Ver anexo 5)

Varias especies y subespecies endémicas y propias de estos humedales están en peligro de extinción, mientras que no hay especies periféricas amenazadas aunque la subespecie de alondra, *Eremophila alpestris peregrina* (Alaudidae), probablemente era un habitante regular de las zonas abiertas, inundadas en forma intermitente, de los bordes de los humedales, especialmente, en el sur de la sabana. En los otros grupos de vertebrados, pocas especies son propias de estos humedales y relativamente pocas de ellas están amenazadas, siendo tal vez el curí (*Cavia anolaimae*) (Figura 1.26) la más vulnerable. En cuanto a invertebrados, es difícil ser muy específico porque en la mayoría de los grupos, el conocimiento taxonómico es muy escaso para permitir la identificación de especies.



Figura 1.25. Tingua moteada o de pico verde, *Gallinula Melanops bogotensis*, subespecie endémica y en otras épocas el ave acuática más abundante en los humedales de la Sabana, actualmente con poblaciones muy reducidas. Thomas McNish.



Figura 1.26. Curí, *Cavia anolaimae*, especie propia de los humedales y posiblemente amenazada. Thomas McNish.

## 1.7. PROCESOS ECOLÓGICOS EN LOS HUMEDALES

### 1.7.1. PRODUCCIÓN PRIMARIA

Los agentes que realizan el proceso fotosintético en los humedales se pueden diferenciar de acuerdo con la forma de vida característica:

- **Fitoplancton:** el aporte de este componente a la producción primaria del humedal suele ser moderado debido a las condiciones limitativas de un ambiente pobremente iluminado.
- **Perifiton:** su producción puede llegar a ser elevada aunque su masa total sea baja pues tienen un tiempo de renovación muy rápido. Es un componente ecológico de gran importancia dentro de la estructura trófica del humedal, pues constituye la base de la oferta de alimento para las comunidades de macro invertebrados acuáticos.
- **Macrófitas:** son las mayores aportantes en la producción y acumulación de materia orgánica; algunas especies como la enea (*Typha spp*), la lenteja de agua (*Lemna spp*) y el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) se cuentan entre las plantas con más elevada producción primaria de toda la biosfera.

Dependiendo del aporte y disponibilidad de nutrientes que se relacionan estrechamente con la producción primaria, los humedales se pueden clasificar en dos categorías tróficas básicas ver Tabla 1.3. Cuando estas características se manifiestan en sus extremos se pueden denominar, respectivamente, como humedales ultraoligotróficos e hipereutróficos; esta última condición se desarrolla usualmente en los humedales sometidos a deterioro por aportes de contaminación orgánica provenientes de aguas residuales domésticas o industriales.

### 1.7.2. DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Dentro de la funcionalidad natural del ecosistema de humedal, que recibe flujos considerables desde el exterior y por su morfometría tiende a retener más que a exportar, está el constituir sumideros de materiales orgánicos e inorgánicos transportados por las corrientes afluentes, que tienden a depositarse en los sedimentos y, por otro lado, la acumulación de materia orgánica producida localmente dada la elevada producción neta que genera excedentes de biomasa vegetal no consumida directamente por herbivorismo y que se convierte en detritos acumulados en masas de turba, que pueden llegar a tener varios metros de espesor sobre el fondo del humedal.

Tabla 1.3. Clase trófica de los humedales.

Característica	Humedal oligotrófico	Humedal eutrófico
Importación de nutrientes	Por precipitación	Por afluencia superficial y subterránea
Ciclado de nutrientes	Flujos cerrados, se presentan adaptaciones a la escasez de nutrientes: carnivoría en plantas y reubicación interna de nutrientes	Flujos abiertos, sin adaptaciones a escasez de nutrientes
Fuente y depósito de nutrientes	Ninguno de los dos	Ambos
Exportación de detritos	No	Usualmente
Producción primaria	Baja	Elevada
Localización	Humedales de alta montaña	Humedales de plano aluvial

### 1.7.3. EUTROFIZACIÓN

Como consecuencia del tipo de metabolismo y del balance de entradas y salidas de materia del humedal, hay una propensión a tener niveles elevados de nutrientes aportados desde la zona ribereña, desde los afluentes y desde los sedimentos poco oxigenados, con lo cual es común encontrar estados de trofismo (eutrofia, hipereutrofia) elevados de acuerdo a indicadores como el fósforo total; cuando se dan situaciones de oligotrofia, esta es ocasionada por otros limitantes como bajas temperaturas, condiciones de acidez extrema o presencia de sustancias inhibidoras de la actividad descomponedora de los microorganismos, con lo cual la mineralización de los nutrientes y su disolución se hace lenta y, por tanto, baja su disponibilidad efectiva para la producción.



Figura 1.27. Terrización acompañada con invasión de pasto kikuyo, *Pennisetum clandestinum*, en el humedal El Burro. Thomas McNish

### 1.7.4. COLMATACIÓN Y TERRIZACIÓN

El proceso de colmatación natural del cuerpo acuático de un humedal por acumulación de materiales y la siguiente invasión de pasto kikuyo (Figura 1.27) se ha considerado como un proceso irreversible de sucesión hacia un ecosistema terrestre (concepción clásica de la sucesión ecológica).

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la condición de hidromorfismo de los suelos es un fuerte determinante funcional, que no permite una verdadera transición a un ecosistema terrestre. Además, la escala espacio temporal a la cual ocurre la colmatación natural con fluctuaciones climáticas de gran amplitud, permite una amplia gama de trayectorias, que en general no conducen a la desaparición definitiva del humedal, sino más bien a su reconfiguración y desplazamiento de acuerdo con los procesos geomorfológicos de dinámica fluvial, erosión, sedimentación y subsidencia (Mitsch y Gosselink, 1993; Middleton, 1999). Las actividades antrópicas son entonces las responsables, por lo general, del acelerado colapso de muchos humedales en tiempo histórico reciente.

La colmatación sólo se presenta de manera definitiva cuando existe una acumulación de sedimentos minerales transportados por corrientes y además, un cambio hidrológico que profundice el nivel freático del suelo.



Figura 1.28. Vegetación flotante de reciente formación por apertura de espejos de agua, humedal Santa María del Lago.



Figura 1.29. Zona litoral del humedal La Conejera, con heterogeneidad ambiental y diversidad de vegetación. Thomas McNish

## 1.8. DINÁMICA DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA Y SEMIACUÁTICA

La organización de la vegetación acuática y semiacuática depende en gran medida de factores históricos que determinan su estado futuro, dependiendo de la oferta de propágulos y semillas, y de la capacidad de desarrollo y adaptabilidad en un sitio determinado.

### 1.8.1. BANCOS DE SEMILLAS Y PROPÁGULOS

Tanto la composición del banco de semillas como la probabilidad de germinación están fuertemente afectadas por factores externos con variación espacio temporal, entre los cuales el de mayor incidencia es el grado de humedad o inundación del suelo en los períodos críticos del reclutamiento de propágulos, germinación y crecimiento temprano de plántulas. Los eventos subsiguientes de desarrollo pueden modificar la composición final de la vegetación independientemente de la composición original del banco. En todo caso, la interacción de factores autogénicos (internos) y alogénicos (externos) produce los cambios de la vegetación en secuencias que nunca llevan a una fase final terrestre.

### 1.8.2. ATRIBUTOS FUNCIONALES

Los humedales presentan simultáneamente atributos de madurez e inmadurez ecosistémica: altas tasas de producción respecto a la respiración, como en ecosistemas inmaduros y la acumulación de materia orgánica de detritus sobre el suelo (turba orgánica), como en ecosistemas maduros. La descomposición se lleva a cabo muy lentamente por las condiciones de anegamiento y falta de aireación; estas acumulaciones pueden superar 10 o 20 veces los valores de la biomasa verde.

Los ciclos de nutrientes son muy variables: en los humedales riparios la renovación de las aguas y los nutrientes es muy rápida; por el contrario, en las turberas cerradas la única entrada de agua es a través de la precipitación y los ciclos son prácticamente cerrados.

Los humedales presentan una compleja heterogeneidad espacial. Esta se ha considerado característica de los ecosistemas maduros y suele atribuirse a mecanismos de autoorganización, sin embargo, en los humedales la causa de su elevada heterogeneidad espacial no es autógena, sino que se halla controlada por factores externos (principalmente la hidrología) y condicionada a escalas muy locales por la micro topografía y la batimetría.

Al efectuar un análisis para el conjunto de los trece humedales del Distrito se observa que existe una gran división en cuanto a su composición y estructura. En primer lugar, con rondas muy ricas en especies como el humedal de Córdoba y Conejera. En segundo lugar, con rondas en proceso de desarrollo como la de Santa María del Lago con plantaciones protectoras que aplican criterios de recuperación ecológica; sin embargo, debido a que las plantaciones son relativamente recientes, la vegetación no ha podido alcanzar la altura esperada, para brindar mayor diversidad de hábitat para la fauna residente y migratoria propia de este ecosistema; en este segundo grupo podemos ubicar a humedales como Torca y Guaymaral que respondiendo a su historia de transformación, ubicación espacial y tensionantes socioculturales de su entorno, no se han visto tan afectados.

En tercer lugar, se encuentran aquellos humedales en los cuales se presentan rondas y ZMPA cuya cobertura vegetal está conformada, principalmente, por especies exóticas como Juan Amarillo, Jaboque, El Burro, Tibanica y Meandro del Say. Por último, aparecen los humedales de Techo y La Vaca que son los más degradados. En ellos los objetivos de recuperación deben ir encaminados de forma diferencial con respecto a los demás humedales.

Por otra parte, se suele confundir la estructura espacial de zonas más o menos concéntricas, en los litorales de los humedales con fases sucesionales.

La estructura de franjas muy diferenciadas es debida más bien al fuerte gradiente ambiental, frente al cual se organizan espacialmente las especies con tolerancias similares y el cambio en la secuencia vegetal es debido a variaciones periódicas en los factores abióticos, especialmente, los regímenes de variación cíclica del nivel del agua. (Fig. 1.28-1.29)



Figura 1.30. La madurez en un ecosistema de humedal permite la heterogeneidad espacial y la coexistencia de muchas formas de vida. Detalle del Pato turrio o pato pico azul, *Oxyura jamaicensis*. Humedal La Conejera. Foto: Thomas McNish.



Figura 1.31. Humedal La Vaca, terrización con escombros e invasión de la ronda, punto extremo del deterioro ambiental. Thomas McNish

